

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Stanislaw Ćosić

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Neven Hadžić

Student:

Stanislav Čosić

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru; doc. dr. sc. Nevenu Hadžiću na trudu i pomoći sa svojim stručnim savjetima pri sastavljanju ovog rada, kao i svim ostalim predavačima na Fakultetu strojarstva i brodogradnje koji su nastojali prenijeti svoja znanja i iskustva na mene.

Na kraju svoju zahvalnost upućujem svojoj obitelji na njihovu velikoj podršci i razumijevanju tijekom svih mojih godina provedenih na fakultetu.

Stanislaw Ćosić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija brodogradnje



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Stanislaw Ćosić** Mat. br.: 0035185312

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **OSIGURANJE KVALITETE ZAVARENIH SPOJEVA U BRODOGRAĐEVNOM PROIZVODNOM PROCESU**
Naslov rada na engleskom jeziku: **WELDING JOINTS QUALITY INSURANCE DURING SHIPBUILDING PRODUCTION PROCESS**
Opis zadatka:

Postupci zavarivanja imaju vrlo veliku ulogu u brodograđevnom proizvodnom procesu, od faze izrade podsklopova do montaže sekcija na građevnom mjestu. Stoga je tijekom procesa gradnje broda neophodno provoditi kontinuiran nadzor i osiguranje kvalitete zavarenih spojeva sa svrhom podizanja kvalitete finalnog proizvoda.

U radu je potrebno za klasičan brodograđevni proces prikazati:

1. Postupke zavarivanja i njihovu ulogu u svim fazama proizvodnog procesa.
2. Analizirati moguće izvore pogrešaka i metode njihove kontrole prema važećim pravilima klasifikacijskih društva (npr. HRB, BV i ABS).
3. Identificirati fazu ili faze proizvodnog procesa u kojoj je kontroli kvalitete zavarenih spojeva potrebno posvetiti osobitu pažnju.

Na temelju prikazanih metoda potrebno je provesti analizu osiguranja kvalitete zavarenih spojeva na primjeru jedne sekcije dvodna broda za prijevoz nafte.

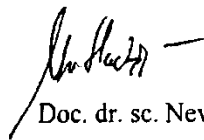
Tijekom izrade rada koristiti literaturu dostupnu na FSB-u.

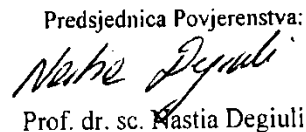
Zadatak zadan:
25. studenog 2015.

Rok predaje rada:
1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Neven Hadžić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Nastia Degiuli

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. ZAVARIVANJE U BRODOGRADNJI.....	2
2.1. Općenito o zavarivanju	2
2.2. Zavareni spojevi u brodogradnji	8
2.3. Materijali u brodogradnji	10
3. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI	12
3.1. Zavarivanje električnim lukom	12
3.2. Ručno elektrolučno zavarivanje REL	14
3.3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom EPP	17
3.4. Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina (MIG/MAG).....	20
4. GREŠKE U ZAVARIVANJU.....	24
4.1. Pukotine	24
4.1.1. Tople pukotine	25
4.1.2. Hladne pukotine	25
4.2. Šupljine - Poroznost	26
4.3. Čvrsti uključci	27
4.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar	28
4.5. Pogreške oblika zavara.....	29
4.6. Redoslijed zavarivanja	29
4.7. Zaštitni premaz.....	30
4.8. Ostali uzroci nastajanja pogrešaka	31
5. METODE KONTROLE ZAVARIVANJA	32
5.1. Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja	33
5.1.1. Vizualna kontrola zavarenih spojeva	33
5.1.2. Kontrola nepropusnosti zavarenih spojeva	34
5.1.3. Radiografska kontrola zavarenih spojeva	34
5.1.4. Ultrazvučna kontrola zavarenih spojeva	35
5.1.5. Kontrola zavarenih spojeva magnetskim ispitivanjem	36
5.1.6. Kontrola zavarenih spojeva penetrantskim tekućinama.....	36
5.2. Kontrola zavarenih spojeva razaranjem	37
5.2.1. Kontrola razaranjem sučeljeno zavarenih spojeva.....	37
5.2.2. Kontrola razaranjem kutno zavarenih spojeva.....	39
5.3. Kontrola zavarenih spojeva prema pravilima klasifikacijskih društva	40
5.3.1. Položaj i način rezanja epruveta kod ispitnih uzoraka	41

5.4. Osiguranje kvalitete po fazama brodograđevnog proizvodnog procesa	45
5.5. Faza proizvodnog procesa u kojoj treba posvetiti osobitu pažnju kod kontrole kvalitete zavarenih spojeva	47
6. OSIGURANJE KVALITETE ZAVARENIH SPOJEVA NA SEKCIJI DVODNA BRODA ZA PRIJEVOZ NAFTE.....	49
6.1. Narudžbena i radionička specifikacija	51
6.2. Raskroj materijala	53
6.3. Tehnološka uputa	59
7. ZAKLJUČAK	62
LITERATURA.....	63

POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela postupaka zavarivanja pritiskom.....	3
Slika 2. Podjela postupaka zavarivanja taljenjem	3
Slika 3. Osnovni elementi zavarenog spoja	5
Slika 4. Zavareni spojevi	6
Slika 5. Kutni zavari.....	6
Slika 6. Podjela šavova po kontinuitetu	7
Slika 7. Osnovne vrste zavarenih spojeva	7
Slika 8. Položaji zavarivanja	7
Slika 9. REL postupak zavarivanja	14
Slika 10. Prikaz EPP zavarivanja	17
Slika 11. Prikaz MIG/MAG zavarivanja.....	20
Slika 12. Dodavanje žice guranjem.....	22
Slika 13. Dodavanje žice „push-pull“	22
Slika 14. Prikaz redoslijeda privarivanja.....	29
Slika 15. Prikaz redoslijeda zavarivanja	29
Slika 16. Prikaz redoslijeda kutnog zavarivanja	30
Slika 17. Mjere uzorka za sučeljeni spoj na limu.....	41
Slika 18. Mjere uzorka za cijevni nastavak.....	42
Slika 19. Mjere uzorka za sučeljeni spoj na cijevi	42
Slika 20. Mjere uzorka za kutni zavar.....	42
Slika 21. Položaj epruveta za sučeljeni spoj na limu	43
Slika 22. Položaj epruveta za sučeljeni spoj na cijevi.....	43
Slika 23. Položaj epruveta za cijevni nastavak	44
Slika 24. Položaj epruveta za kutni T-spoj.....	44
Slika 25. Provjera visine zavara	48
Slika 26. Provjera smaka zavara	48
Slika 27. Sekcija dvodna	49
Slika 28. Sekcija dvodna bez pokrova	49
Slika 29. Sekcija dvodna bez pokrova i uzdužnjaka	50
Slika 30. Panel oplata dna	50
Slika 31. Raskroj lima pokrova dvodna L1	53
Slika 32. Raskroj lima pokrova dvodna L2.....	53
Slika 33. Raskroj lima rebra L3	54
Slika 34. Raskroj lima rebra L4	54
Slika 35. Raskroj lima rebra L5	55
Slika 36. Raskroj lima rebra L6	55
Slika 37. Raskroj lima rebra L7	56
Slika 38. Raskroj lima ukrepa rebra L11.....	56
Slika 39. Raskroj lima ukrepa rebra L12.....	57
Slika 40. Raskroj TR profila	57
Slika 41. Raskroj HP profila	58

POPIS TABLICA

Tablica 1. Oblici najčešće korištenih žljebova i odgovarajućih šavova.....	6
Tablica 2. Ispitivanje bez razaranja i ispitivanje sa razaranjem	41
Tablica 3. Osiguranje kvalitete po fazama procesa	46
Tablica 4. Narudžbena specifikacija limova	51
Tablica 5. Narudžbena specifikacija profila	51
Tablica 6. Radionička specifikacija limova	52
Tablica 7. Radionička specifikacija profila	52

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a	mm	Minimalna duljina uzorka
b	mm	Minimalna širina uzorka
BT	kg/h	Brzina taljenja elektrode
d	mm	Promjer elektrode
D	mm	Vanjski promjer cijevi
HV	-	Tvrdoća po Vickersu
I	A	Jakost struje
Q	J	Energija
Re	N/mm ²	Granica razvlačenja
Rm	N/mm ²	Vlačna čvrstoća
t	s	Vrijeme
t	mm	Debljina stijenke
T	°C	Temperatura
U	V	Napon
v	mm/s	Brzina zavarivanja
α	°	Kut spoja cijevi
ρ	kg/m ³	Gustoća
η	-	Stupanj iskorištenja postupka zavarivanja

SAŽETAK

U radu je opisana problematika zavarivanja u brodograđevnom proizvodnom procesu. Jedna od najvažnijih komponenti složenog brodograđevnog proizvodnog procesa je svakako sastavljanje elemenata brodske konstrukcije u jednu funkcionalnu cjelinu primjenom zavarivanja. Bez metode spajanja elemenata zavarivanjem, današnja brodograđevna industrija je nezamisliva. Postupci zavarivanja imaju vrlo veliku ulogu tijekom proizvodnog procesa, od faze izrade podsklopova do montaže sekcije na građevnom mjestu. Stoga je tijekom procesa gradnje broda neophodno provoditi kontinuiran nadzor i osiguranje kvalitete zavarenih spojeva sa svrhom podizanja kvalitete finalnog proizvoda. Svrha ovog rada je analizirati vrste zavarivanja koje se koriste u brodogradnji i postupci kojima osiguravamo kvalitetu zavarenih spojeva, te analizirati načine kontrole zavarenih spojeva provodimo sve do gotovog proizvoda.

Ključne riječi: brodogranja, brodograđevni proizvodni proces, zavarivanje, zavareni spoj, kvaliteta zavarenog spoja, kontrola zavarenog spoja.

SUMMARY

The project describes the problem of welding in shipbuilding production process. One of the most important components of complex shipbuilding production process is assembling ship structure elements to a functional unit by using welding. Without connecting elements using welding, today's shipbuilding industry is inconceivable. Welding processes have a very big role in the manufacturing process, from the stage of development of parts to the assembly sections at the construction site. Therefore, during the process of construction of the ship's is necessary to implement continuous monitoring and quality assurance of welded joints for the purpose of final product quality raising. The purpose of this project is to analyze welding procedures used in shipbuilding process and procedures to ensure the quality of welded joints, and to analyze ways to control welds up to the finished product.

Key words: naval architecture, shipbuilding production process, welding, welded joint, welded joint quality, control of welded joints.

1. UVOD

Brodogradnja je gospodarska djelatnost koja proizvodi jedan od najkompleksnijih proizvoda, brod. Svakom brodu da bi se mogao oduprijeti često teškim uvjetima pri plovidbi treba osigurati svojstva kao što su brzina, čvrstoća, nepotopivost, stabilitet, upravljivost i slično. Brod kao veoma kompleksan proizvod prolazi kroz proizvodne faze u brodogradilištu kako bi se dobio konačan proizvod. Veoma važan proces u tijeku nastajanja broda je svakako izgradnja broorskog trupa. Izgradnja broorskog trupa počinje aktivnostima pripreme čeličnih limova i profila za početak obade i izrade elemenata od kojih će nastati brodski trup. Sastavljanje elemenata u cjelinu je veoma važno za eksploataciju broda, budući konstrukcija treba sigurno prenositi dobra koja se u nju ukrcaju.

Tijekom povijesti postojali su razni tehnološki postupci spajanja elemenata broorskog trupa. Razvojem tehnologije, danas se kao najproduktivniji način spajanja elemenata koristi postupak zavarivanja. Zavarivanje se može uvrstiti u nove grane tehničkih nauka, iako nas počeci zavarivanja vraćaju u vremena početka prerade ruda u metale. Razvoj ovog načina spajanja metala kretao se vijekovima vrlo sporo, i tek s naglim uvođenjem u upotrebu metala, a posebno čelika i željeza, počeo naglije razvijati. Zbog velike važnosti samog zavarivanja u gradnji broorskog trupa, a i velike količine zavora, pojavljuje se velika količina problema u proizvodnom procesu. Cilj u konačnosti je osiguranje kvalitete zavarenih spojeva u proizvodnom procesu kako bi brodu bio osiguran dugotrajniji i sigurniji vijek trajanja. Postizanjem dužeg vijeka broda jedino možemo postići kontinuiranim nadzorom kvalitete zavarenih spojeva tijekom procesa njegove gradnje.

2. ZAVARIVANJE U BRODOGRADNJI

2.1. Općenito o zavarivanju

Zavarivanje je postupak spajanja dvaju ili više dijelova uz dodavanje, ili bez dodavanja dodatnog materijala, s pomoću različitih izvora energije, tako da spoj ima što ravnomjernije osobine za onu vrstu primjene kojoj je konstrukcija namijenjena, [1].

Navarivanje je nanošenje dodatnog materijala na određenu površinu radi dobivanja željenih osobina ili dimenzija, [1].

S obzirom na način spajanja, zavarivanje se dijeli u dvije osnovne grupe, [2]:

- zavarivanje pritiskom je zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mjestu spoja pomoću pritiska ili udarca,
- zavarivanje taljenjem je zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mjestu spoja, uz dodavanje dodatnog materijala ili bez njega, ali bez primjene pritiska ili udarca.

Povijesni razvoj:

1882. godine – prvi el. luk

1894. godine – plinsko zavarivanje

1905. godine – elektro otporno točkasto zavarivanje

1907. godine – Kullberg – obložena elektroda (REL (Ručno ElektroLučno))

1911. godine – plinsko rezanje

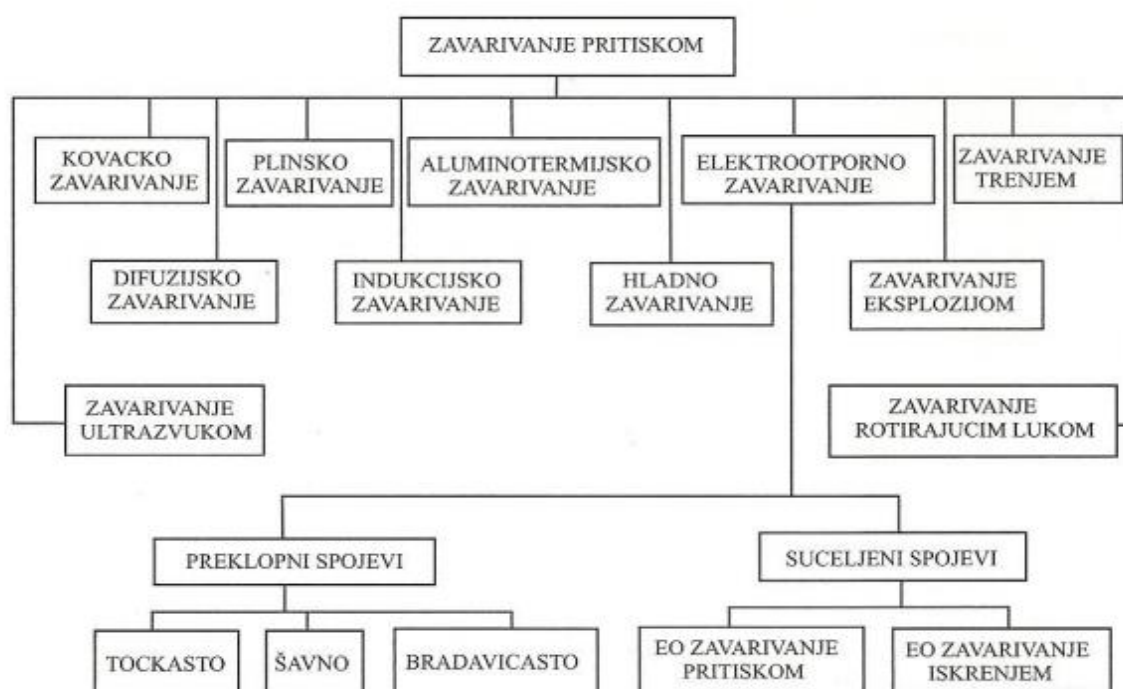
1935. godine – EPP (Elektrolučno zavarivanje Pod zaštitom Praška)

1941. godine – TIG (Tungsten – wolfram Inert Gas)

1948. godine – MIG (Metal Inert Gas)

1953. godine – MAG (Metal Active Gas)

1959. godine – lasersko zavarivanje



Slika 1. Podjela postupaka zavarivanja pritiskom



Slika 2. Podjela postupaka zavarivanja taljenjem

Kod zavarenog spoja moguće je prepoznati tri osnovna dijela, [1]:

- osnovni materijal,
- metal zavora,
- zona utjecaja topline (promjene u strukturi osnovnog materijala u zoni zavora).

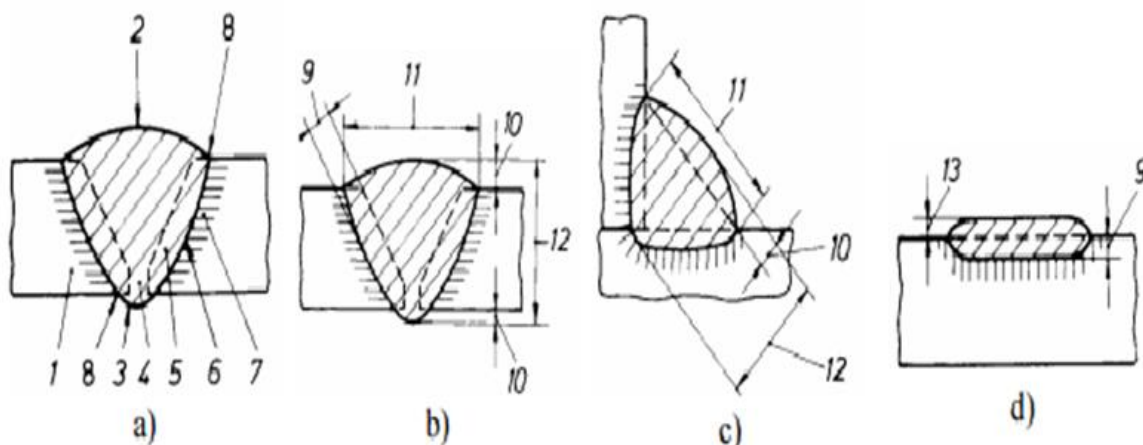
Zavarivanje se može provesti na više načina, ovisno o postupku odnosno načinu ostvarivanja spoja zavora, [1]:

- elektrolučno zavarivanje,
- plinsko zavarivanje,
- elektrootporno zavarivanje,
- zavarivanje tokom nabijenih čestica,
- zavarivanje u čvrstom stanju.

Zavarljivost je sposobnost materijala, da se pri određenim povoljnim uvjetima zavarivanja ostvari kontinuirani zavareni spoj, koji će svojstvima udovoljiti predviđenim uvjetima i vijeku eksploatacije. Pod tehnologijom zavarivanja podrazumijeva se skup operacija koje je potrebno izvesti da bi se napravio zavareni spoj (izbor osnovnog i dodatnog materijala, priprema osnovnog materijala, izbor postupka i parametara zavarivanja). Pod tehnikom zavarivanja podrazumijevaju se načini izvođenja pojedinih operacija, [3].

Dijelovi koji se spajaju, odnosno materijal od kojih su izgrađeni, naziva se osnovni materijal. Obično se radi stvaranja i popunjavanja spoja dodaje dopunski materijal, obično u obliku žice ili šupke, te se naziva dodatni materijal. Pod zavarenim spojem podrazumijeva se konstruktivna cjelina, koju čini osnovni materijal (1) i dodatni materijal za zavarivanje, a kod koga se razlikuju lica zavora (2), naličje zavora (3), korijen zavora (4) i rub zavora (8), slika 3a. Kod postupka zavarivanja taljenjem, zavareni spoj nastaje očvršćivanjem rastaljenog osnovnog i dodatnog materijala ili samo osnovnog materijala. Zona utjecaja topline (ZUT), označena je sa (7) na slici 3, je onaj dio osnovnog materijala koji je pod utjecajem zagrijavanja i hlađenja pretrpio izvjesne strukturne promjene, ali ispod temperature taljenja, [3].

Na slici 3, prikazane su osnovne dimenzije zavora: širina (11), debljina (12) i nadvišenje (10), i to za slučaj sučeonog, slika 3b, i kutnog spoja, slika 3c, kao i za navareni sloj, slika 3d, kod koga je bitna i njegova debljina (13), [3].


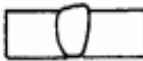



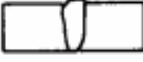
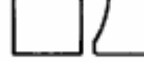

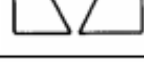
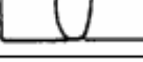
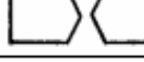

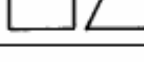
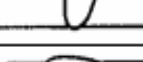
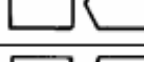

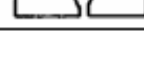
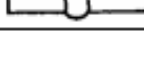
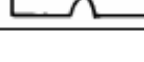
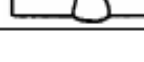


Slika 3. Osnovni elementi zavarenog spoja

Zavareni spojevi se pripremaju za zavarivanje ovisno o procesu zavarivanja. Oblikovanje spojeva predstavlja cjelovitu pripremu spoja za zavarivanje. Oblik spoja se uglavnom odredi za predviđen postupak prema ISO-normama ili hrvatskom brodograđevnom standardu kao što su:

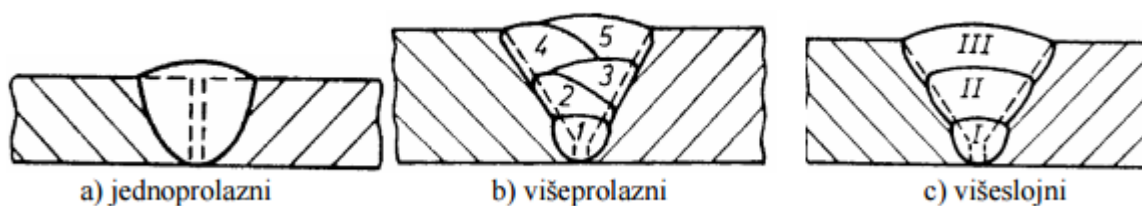
- ISO 9692-1 za REL, MAG i TIG - zavariv. SB61729.

Najčešća su dva tipa spojeva, sučeon i kutni. Sučeon spojevi koriste se kod nastavljanja limova, profila, i cijevi. Najčešći je sučeon spoj s „V“ pripremom žlijeba za zavarivanje. Žlijeb se izrađuje radi potpunog protaljivanja bridova i time potpunog spajanja nakon skrućivanja. Postoji veliki broj varijacija oblika žlijeba, sve u namjeri da se natali što manje dodatnog materijala, tablica 1, [4].

naziv	izgled žlijeba	izgled šava	naziv	izgled žlijeba	izgled šava
rubni			U		
I			J		
V			X		
HV			K		
Y			duplo U		

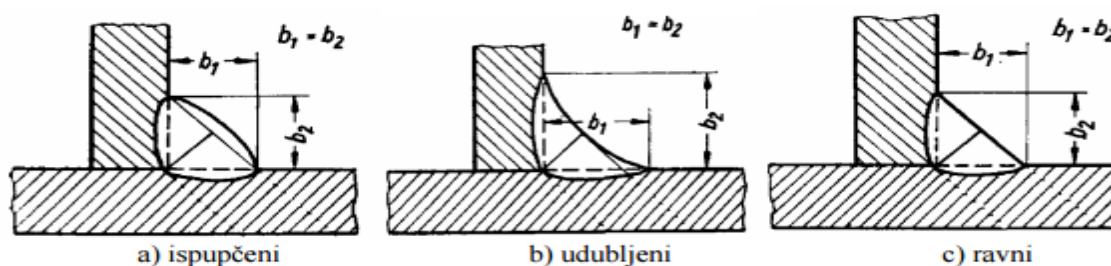
Tablica 1. Oblici najčešće korištenih žljebova i odgovarajućih šavova

Kada se zavaruje nekoliko slojeva, onda se to zove višeslojno zavarivanje. Svaki sloj može se izvesti s jednim ili više prolaza ili gusjenica, slika 4, [3].

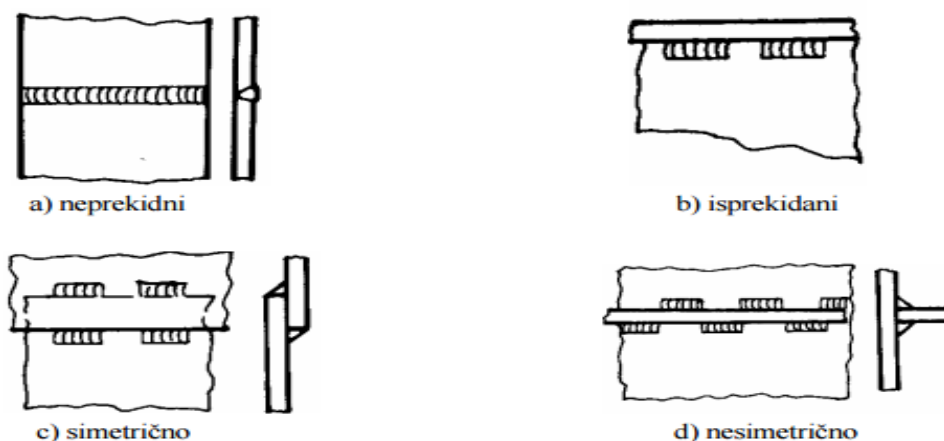


Slika 4. Zavareni spojevi

Prema obliku lica šava razlikuju se ravni, udubljeni i ispupčeni šavovi, slika 5, a prema kontinuitetu šavovi se dijele na neprekidne, slika 6a, i isprekidane, slika 6b, koji mogu biti simetrični, slika 6c, ili nesimetrični, slika 6d, [3].

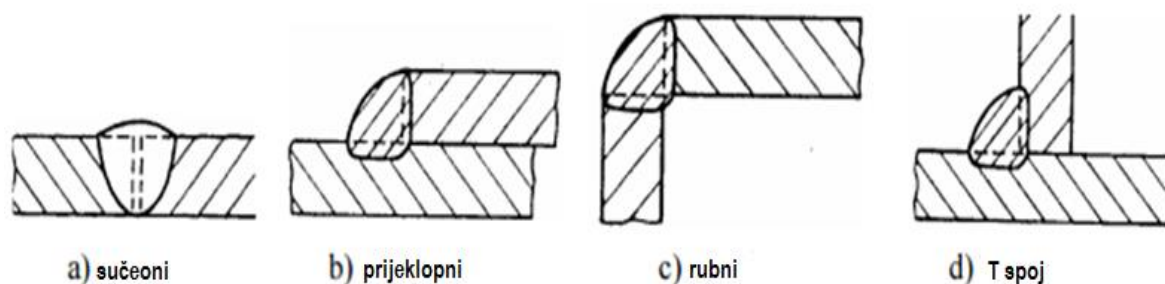


Slika 5. Kutni zavari

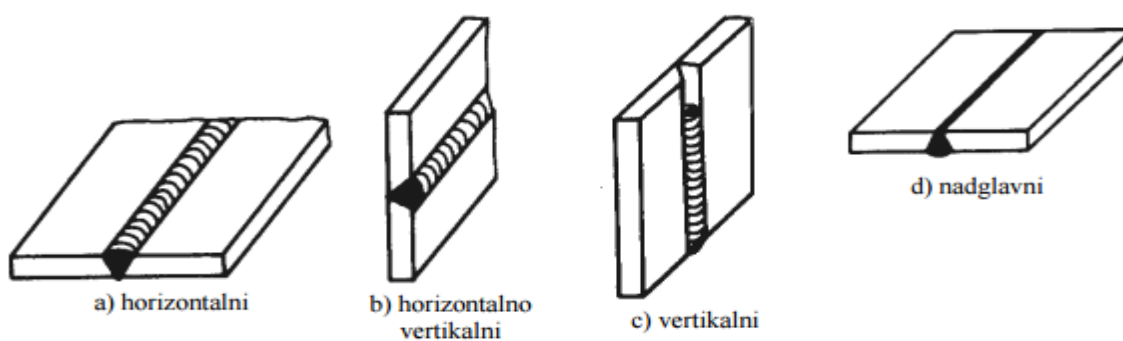


Slika 6. Podjela šavova po kontinuitetu

Zavisno od međusobnog položaja dijelova koji se zavaruju, osnovne vrste zavarenih spojeva su sučeoni, preklopni, rubni, T spoj, slika 7, a u zavisnosti od položaja, zavarivanje može biti u horizontalnom, horizontalno-vertikalnom, vertikalnom i nadglavnom položaju, slika 8. Položaji zavarivanja koji nisu horizontalni, zovu se prinudni, [3].



Slika 7. Osnovne vrste zavarenih spojeva



Slika 8. Položaji zavarivanja

2.2. Zavareni spojevi u brodogradnji

Prema Hrvatskom registru brodova zavarivački su radovi u brodogradnji predviđeni za izradbu i ugradnju elemenata nove konstrukcije, izmjene i popravke, [5]:

- trupa broda, nadgrađa, palubnih kućica,
- uređaja i opreme,
- strojeva i strojnih uređaja,
- kotlova i posuda pod tlakom,
- cjevovoda.

Nadzor nad zavarenim spojevima se provodi u slijedećim stavkama, [5]:

- odobrenje radnih organizacija za izvođenje zavarivačkih radova,
- atestiranje zavarivača,
- atestiranje postupka zavarivanja,
- dodatni materijali za zavarivanje,
- temeljni prijemazi pogodni za zavarivanje.

Radne organizacije, uključujući i njihove pogone i kooperante (podugovaratelje) koji izvođe zavarivačke radove na konstrukcijama moraju za te radove biti odobrene od registra. Atestacija zavarivača koji izvođe zavarivačke radove na konstrukcijama obavlja se pod nadzorom registra. Svi postupci zavarivanja koji se primjenjuju prilikom izradbe i ugradnje konstrukcija moraju biti provjereni i odobreni od registra. Dodatni materijali koji se upotrebljavaju za zavarivanje konstrukcija moraju biti ispitani i odobreni od registra. Temeljni premazi pogodni za zavarivanje na limovima, sekcijama itd., ne smiju značajno umanjiti kakvoću zavarenih spojeva. Tijekom izvedbe potrebno je voditi računa o pristupačnosti zavarenom spoju, o položaju zavarivanja i o redoslijedu zavarivanja. O obliku zavarenog spoja i redoslijedu zavarivanja treba voditi računa, da se izbjegnu značajna zaostala naprezanja koja mogu izazvati naknadne deformacije, [5].

Priprema spoja se može izvesti termičkim rezanjem i strojnom obradom. Površine žlijeba moraju biti bez nečistoća i grešaka. Mora se voditi računa o obliku spoja i zračnosti u korijenu zavora. Zračnosti u korijenu ne smije preći dvostruku vrijednost propisane zračnosti. Lokalno smanjenje zračnosti se provodi navarivanjem stranica spoja. Dijelovi koji se spajaju sučeljenim spojem moraju biti poravnati što je više moguće. Uške, privremeni držači, naprave za poravnavanje moraju biti izrađeni od istog ili sličnog materijala kao što je osnovni i ne smiju se koristiti više nego što je neophodno. Svako oštećenje uzrokovano njihovim otklanjanjem mora biti stručno popravljeno, [5].

Područja koja se zavaruju moraju biti zaštićena od atmosferskih utjecaja i moraju se predgrijati gdje je to potrebno, što se posebno utvrđuje na osnovi kemijskog sastava, debljine, smjerova odvođenja topline i okolne temperature. Pri vanjskim temperaturama ispod +5 °C moraju se poduzeti dodatne radnje. Gdje god je moguće, nikakvi zavarivači radovi se ne smiju izvoditi ispod -10 °C. Zavarivanja se u pravilu izvode u optimalnom položaju, a redoslijedom zavarivanja se moraju osigurati što manje zaostalih naprezanja i deformacija, [5].

Dijelovi koji nisu potpuno zavareni i koji se prenose ili preokreću moraju imati zavarene spojeve dovoljne čvrstoće. Ne smije se zavariti preko puknutih zavora, nego ih prije zavora treba otkloniti. Zavari moraju imati dostatnu penetraciju i moraju imati čistu, pravilnu površinu s blagim prijelazom na osnovni materijal. Preveliko nadvišenje zavora, zajedi ili zarezi koji mogu utjecati na kakvoću spoja nisu dopušteni. Termički ili mehanički postupci ravnanja ne smiju smanjiti kakvoću materijala i zavarenih spojeva. Naknadna obrada kao na primjer poboljšanje obrade površine u slučaju dinamičkih opterećenja ne smije smanjiti svojstva zavarenog spoja, [5].

2.3. Materijali u brodogradnji

Općenito su u brodogradnji u upotrebi ovi materijali, [5]:

- metali (čelici i obojeni metali),
- drvo i umjetni materijali (plastika),
- nemetali (cement, obloge, boje, brtve itd.).

Materijali se primjenjuju kao, [5]:

- metalni poluproizvodi koje koristi i ostala industrija,
- materijali srodni s građevinarstvom,
- specifični brodograđevni materijali.

Svi proizvedeni materijali za dijelove i konstrukciju, te postupci proizvodnje trebaju biti odobreni od registra. Da bi se osigurala kvaliteta, ubrzalo i olakšalo odobravanje pojedinih proizvoda, registri odobravaju proizvođače, ispitne institucije, radionice i servisne stanice. Registar ne jamči da materijali isporučeni naručitelju odgovaraju dogovorenim dimenzijama i težini i da nemaju grešaka koje mogu štetno djelovati kod upotrebe za određenu svrhu. Proizvodi koji se pokazuju neispravnima, mogu se odbaciti, usprkos prethodnim ispitivanjima koja su udovoljila normama. Provjera materijala se obavlja kod proizvođača ili kod odobrene ispitne institucije. Kontrolu treba obaviti nakon konačne tehnološke obrade. Ekspertima treba omogućiti pristup svim mjestima i fazama proizvodnje, [5].

Brodograđevni čelik za dijelove konstrukcije trupa dijeli se prema mehaničkim svojstvima, tehnologiji izrade i kemijskom sastavu na četiri kategorije označene slovima A, B, D i E. Sa stajališta konstrukcije brodskog trupa kategorije čelika se odnose na svojstvo udarne žilavosti pri sniženim temperaturama, [5].

Brodograđevni čelik normalne čvrstoće je čelik za konstrukciju trupa s minimalnom nominalnom granicom razvlačenja (yield point) od $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$, a rastezna čvrstoća (tensile strength) mu je od $R_m = 400$ do 490 N/mm^2 . Mehaničke razlike između čelika različitih kategorija A, B, D i E je u udarnoj žilavosti i to na niskim temperaturama.

Brodograđevni čelik povišene čvrstoće je čelik za konstrukciju trupa sa s minimalnom nominalnom granicom razvlačenja (yield point) koja se razmatra u četiri grupe: $R_e = 315, 355$ i 390 N/mm^2 .

Ovisno a kategoriji, čelici povišene čvrstoće se označavaju:

- A32 D32 E32, F32,
- A36 D36 E36, F36,
- A40, D40 E40, F40.

Oznaka klase F se odnosi na čelike za primjenu na niskim temperaturama ($-60 \text{ }^\circ\text{C}$). U nekim slučajevima se može uz oznaku klase koristiti i oznaka H za čelike povišene čvrstoće: AH, DH, EH.

Za izradbu zavarenih struktura mogu se isključivo upotrebljavati osnovni materijali dokazane zavarljivosti. Zavarivanje brodograđevnih čelika kategorije A, B, D i E ispitanih od registra, može se izvoditi bez prethodne provjere. Zavarivanje brodograđevnih čelika kategorije A32, A36, A40, D32, D36, D40, E32, E36, E40, F32, F36 i F40 ispitanih od registra mora se prethodno provjeriti. Čelici za poboljšanje, sitnozrnati konstrukcijski čelici, čelici za rad na niskim temperaturama i nehrđajući čelici moraju se provjeriti u kombinaciji s postupkom zavarivanja i dodatnim materijalom, [5].

3. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI

3.1. Zavarivanje električnim lukom

Pod pojmom elktrolučnog zavarivanja smatraju se postupci zavarivanja koji kao izvor topline koriste električni luk uspostavljen između elektrode i osnovnog materijala, a dodatni materijal je sama elektroda ili žica za zavarivanje. Zavarivanje električnim lukom je najstariji „moderni“ način zavarivanja, ali i najviše korišten u proizvodnji konstrukcija. Električni luk tali mjesto spajanja i obično i samu elektrodu. Talina se brzo skrućuje kako se luk udaljava uzduž zavara. Atmosfera električnog luka sastoji se od djelomično ioniziranih plinova, metalnih para i oksida, a kroz luk prelijeću i kapljice metala i troske. Luk je osjetljiv na strujanja zraka i na magnetska polja, jer predstavlja plinoviti električni vodič. Uspostavljanje luka postiže se kod zavarivanja najčešće kratkim spojem elektrode i zavarivanog metala. Na mjestu kratkog spoja poteče struja velike jakosti koja rastali dodirno mjesto i zagrijava nastali rastaljeni mostić. Rastaljeni mostić eksplozivno ispari uslijed pregrijavanja i nastale metalne pare obogate atmosferu metalnim ionima. Istovremeno s usijane negativne elektrode dolazi do izbijanja elektrona uslijed termo emisije i dijelom uslijed emisije električnog polja. Ovaj proces traje oko 0,001 s nakon čega se stabilizira električni luk, odnosno tok struje kroz luk. Luk izmjenične struje je najstabilniji od luka istosmjerne struje jer se pali i gasi s frekvencijom mreže, ali magnetsko polje nepovoljnije utječe na luk istosmjerne struje, [4].

Fizikalne pojave u zavarivačkom luku su vrlo složene tako da se ovdje daje krajnje pojednostavljen opis. Negativna elektroda-katoda, emitira elektrone u luk. U tankom sloju uz katodu postoji pad napona od nekoliko volti, što daje visok gradijent električnog polja. Ukoliko se u tom tankom sloju nalaze tvari s niskim potencijalom ionizacije, onda će i napon u katodnoj zoni biti niži, a luk stabilniji. Nizak napon ionizacije imaju metali, naročito kalij, natrij i litij, a visoki napon imaju plinovi, naročito monoatomni kao argon i helij. Uz pozitivnu elektrodu-anodu, postoji također tanki sloj s naglim padom napona od nekoliko volti, koji se naziva anodna zona. U ovu zonu ulijeću ubrzani elektroni i sudarom predaju energiju atomima elektrode. Uslijed visokih temperatura u luku dolazi do pobuđivanja atoma i molekula koji daju zračenje u području od oko 330 do 7000 nm (od ultraljubičastog preko svjetlosnog do infracrvenog dijela spektra). U zraku nastaje i manja količina ozona. Luk se

mora promatrati samo kroz odgovarajuća zaštitna zatamnjena stakla, a svi dijelovi tijela trebaju biti prekriveni odjećom da se koža ne izlaže ultraljubičastom zračenju, [4].

Energija koja se oslobađa u električnom luku izražava se kao umnožak jakosti i napona struje i vremena.

$$Q = I * U * t \text{ [J]}$$

I - jakost struje zavarivanja [A]

U - napon mjeren između anode i katode [U]

t - jedinično vrijeme [s]

Brzina taljenja elektrode je izražena kao količina rastaljenog metala u jednom satu

$$BT = K * I \text{ [kg/h]}$$

Vidljivo je da na brzinu taljenja utječe samo jakost struje zavarivanja za zadanu vrstu elektrode. Oblik luka može biti stožast ili zvonast. Uži luk prodire dublje u materijal, a širi luk zagrijava šire područje zavora i daje plići zavar s manjim taljenjem zavarivanog komada. Rastaljeni metal elektrode prelazi u zavar u obliku kapljica različite veličine. Metalne kapi prilikom preleta s elektrode u zavar prolaze kroz atmosferu. One su obično zaštićene od kisika i dušika iz zraka rastaljenom skramom troske koja ih obavija, ili se zaštitnim plinovima odstranjuje zrak iz atmosfere luka. Ulaz zraka u atmosferu luka ne može se u potpunosti spriječiti, tako da dolazi do odgaranja dijela legiranih elemenata, naročito onih s visokim afinitetom prema kisiku, [4].

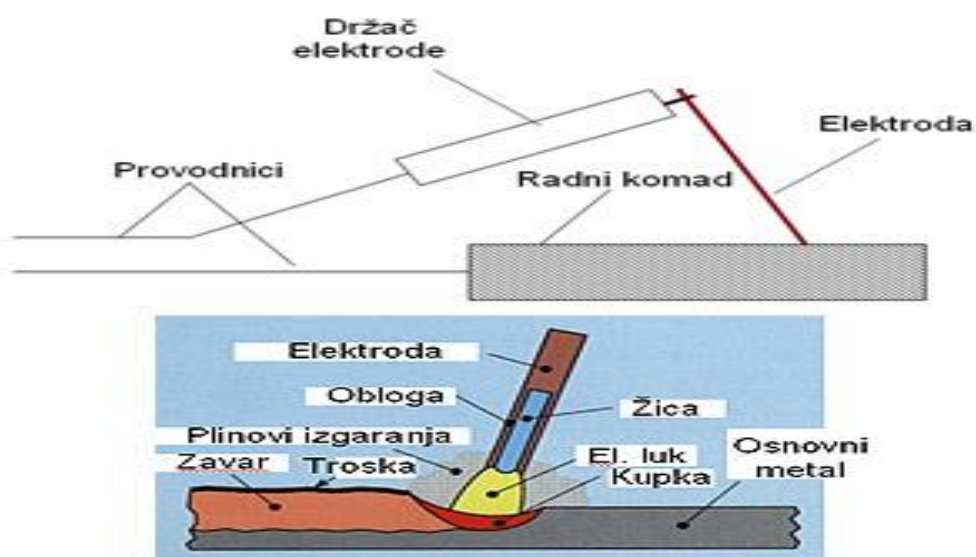
U slučaju čelika moguće su neke tipične reakcije kao na primjer:

- kod nepotpuno dezoksidiranih čelika dolazi do reakcije u kapljici između željeznog oksida ugljika, nastaje ugljični monoksid koji ekspandira iz kapljice i izaziva prskanje,
- željezni oksid iz kapljice, ili koji nastaje oksidacijom kapljice u luku, predaje kisik siliciju i manganu koji tvore trosku koja isplivava na površinu rastaljenog metala.

Kod zavarivanja u zatvorenom prostoru atmosfera je mirna i moguće je zavarivati bilo kojim načinom zaštite atmosfere luka. Kod montažnih radova, na otvorenom, moguće je štititi kapljice isključivo troskom koja ih obavija, jer vjetar lako odnosi zaštitnu plinsku atmosferu. Ukoliko se odgovarajućim šatorima i zaslonima postigne dobra zaštita onda se može zavarivati i uz plinsku zaštitu, [4].

3.2. Ručno elektrolučno zavarivanje REL

Ručno elektrolučno zavarivanje, ili skraćeno REL je postupak ručnog zavarivanja, gdje se između obložene elektrode i metala koji zavarujemo stvara električni luk. Električni luk daje energiju koja topi metal koji zavarujemo (osnovni materijal) i obloženu elektrodu (dodatni materijal), stvarajući zavareni spoj. Princip postupka ručnog elektrolučnog zavarivanja sastoji se u tome da električni luk gori između metalne obložene elektrode, koja se tali iz osnovnog materijala. Električna energija za ovaj postupak dolazi iz izvora koji može biti transformator, ispravljač (diodni, tiristorski ili invertorski) ili pretvarač. U el. luku električna energija se pretvara u toplinsku koja je potrebna za taljenje. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plina. Tekuća troska pokriva metalnu kupku za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi stvaraju dimni plinovi koji nastaju iz komponenata obloge. Zbog ovakvog dvostrukog načina zaštite ovaj postupak je vrlo siguran za zavarivanje, čak i na otvorenom. Slikom 9, prikazani su osnovni elementi REL zavarivanja, [6].



Slika 9. REL postupak zavarivanja

Za razliku od nekih automatskih i poluautomatskih postupaka utjecaj zavarivača na kvalitetu zavarenog spoja je vrlo velik. Razlog tomu leži u tome da veći broj utjecajnih elemenata i parametara ovisi o uvježbanosti zavarivača, te kod ovog postupka valja posebnu pažnju posvetiti stjecanju znanja i vještine zavarivača, [6].

Utjecajni parametri su:

- jakost i vrsta struje,
- dužina el. luka,
- brzina zavarivanja,
- nagib elektrode,
- poprečna kretanja elektrode,
- uspostavljanje i prekidanje el. luka,
- položaj zavarivanja,

Jakost struje zavarivanja ovisi o tipu i promjeru elektrode, vrsti spoja, debljini osnovnog materijala i položaju zavarivanja. Povećanjem dimenzije (promjera) elektrode povećava se i jakost struje zavarivanja, jer je potrebna veća količina topline za taljenje elektrode. Ako je točka taljenja obloge elektrode viša, potrebna je veća jakost struje za zavarivanje. Obično se za elektrode normalnog stupnja iskorištenja uzima jakost struje oko 40 A/mm promjera elektrode, [6].

Dužina električnog luka je udaljenost jezgre elektrode od osnovnog materijala, a ovisi o vrsti elektrode. Kod kiselih i rutilnih elektroda dužina električnog luka je približno jednaka promjeru elektrode. Kod bazičnih elektroda, visokolegiranih elektroda i elektroda za zavarivanje obojenih metala dužina električnog luka je nešto manja. Pri prekomjernom povećanju dužine električnog luka zagrijavanje materijala je slabije, slabija je i zaštita rastaljenog metala, a povećava se gubitak materijala zbog prskanja. Kratak električni luk dobro zagrijava osnovni materijal i daje dubok uvar, [6].

Brzina zavarivanja ovisi o tehnici rada, vrsti i dimenzijama spoja, vrsti osnovnog materijala i tipu obloge. Ako se za vrijeme zavarivanja izvode poprečna kretanja elektrode, brzina zavarivanja je manja, [6].

Nagib elektode utječe na dužinu električnog luka i penetraciju. Ako je elektroda više nagnuta, dužina električnog luka je veća, što naročito štetno utječe pri radu bazičnim elektrodama. Ako je elektroda okomitija luk je kraći, snaga luka je veća, pa je veća i penetracija, [6].

Temperatura predgrijavanja je faktor koji u prvom redu ovisi o zavarljivosti osnovnog materijala i njegove debljine. U pravilu, povećanjem sadržaja ugljika u čeliku, odnosno povećanjem postotka drugih legirnih elemenata smanjuje se zavarljivost čelika što zahtjeva višu temperaturu predgrijavanja, [6].

Obloga elektrode u procesu zavarivanja vrši tri složene funkcije, [6]:

- električnu (važna jer utječe na stabilnost el. luka),
- fizikalnu (utječe na zaštitu taline od zraka(plinovi štite talinu)),
- metaluršku (u oblozi se nalaze komponente koje vrše legiranje metala zavara te utječu na deoksidaciju taline.

Prednosti REL zavarivanja su:

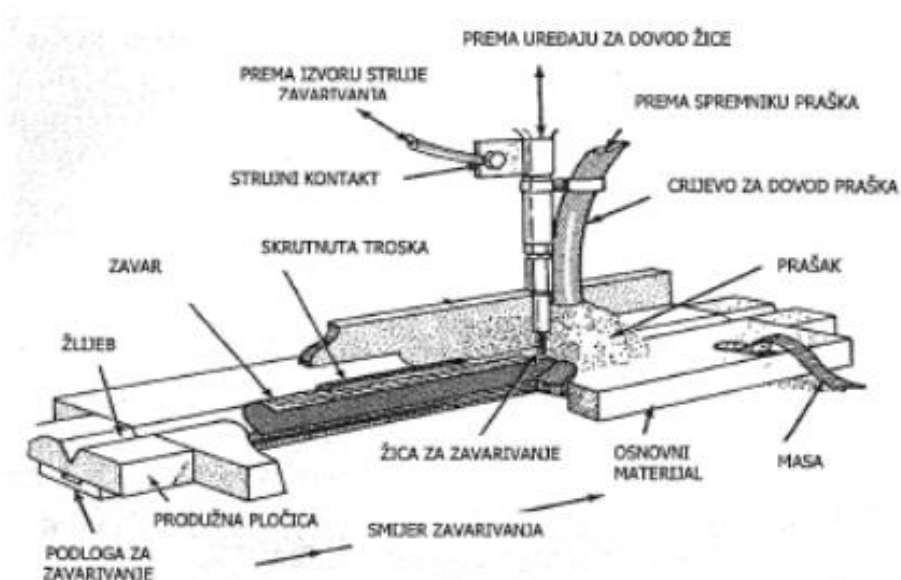
- mogućnost zavarivanja svih metala,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaj) u odnosu na MIG/MAG I EPP,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- pogodan za rad na terenu, naročito tamo gdje nema električne energije,
- vrlo jednostavno rukovanje opremom,
- dobra mehanička svojstva zavara.

Nedostaci REL zavarivanja su:

- postupak se obavlja ručno i kvaliteta zavara ovisi o iskustvu,
- puno dimova za što je potrebna ventilacija,
- jaki i neugodni bljeskovi el. luka,
- po produktivnosti pripada sporijim postupcima zavarivanja.

3.3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom EPP

Princip postupka sastoji se u tome da se metalna elektroda, koja služi i kao dodatni materijal, tali ispod sloja praška zbog topline koja se oslobađa u električnom luku. Električni luk gori između osnovnog materijala i metalne elektrode, koja je u obliku žice namotana na kolut i koja se pomoću pogonskog mehanizma dovodi na mjesto zavarivanja. Za vrijeme zavarivanja električni luk je pokriven zaštitnim slojem praška za zavarivanje, koji se tali. Taljenjem praška nastaje troska koja obavlja niz funkcija isto kao i troska koja nastaje taljenjem obloge elektrode. Nakon zavarivanja, prašak se uklanja, a troska se odvaja. Slika 10, prikazuje osnovne elemente principa EPP postupka zavarivanja, [6].



Slika 10. Prikaz EPP zavarivanja

Za zavarivanje se najviše upotrebljava kombinacija jedne žice i praška, ali mogu se upotrijebiti dvije ili više žica, te kombinacija izmjenične i istosmjerne struje. Takvim varijantama postupka postiže se mogućnost većih strujnih opterećenja i rad većim brzinama zavarivanja, [6].

Glavni parametri kod EPP postupka zavarivanja su, [6]:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 26 do 40 V,
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promijeru žice od 100 A do 1200 A. Zbog manje duljine slobodnog kraja žice moguće je iste promjere žice za zavarivanje opteretiti puno većim strujama nego kod REL postupka,
- brzina zavarivanja (v), je značajno veća u odnosu na REL i MIG/MAG postupak (od 600 do 2000 cm/min),
- napon praznog hoda je 42 V i veći je od REL postupka budući da se teže uspostavlja električni luk.

Kao dodatni materijal za zavarivanje EPP-om upotrebljava se puna ili punjena žica i traka. Površina elektrodne žice je pobakrena zbog zaštite od korozije i boljeg provođenja električne struje.

Prema načinu proizvodnje prašci se dijele na, [6]:

- taljene,
- aglomerirane (keramičke),
- miješane.

Taljeni prašci proizvode se tako da se sirovine za njihovu proizvodnju zagrijevaju do temperature taljenja u elektrolučnim ili kupolnim pećima. Nakon završenog procesa taljenja prašak se granulira, najčešće u vodi, i ako je potrebno, prisilno suši. Proizvodnja aglomeriranih prašaka je slična proizvodnji elektroda. Priprema sirovina za proizvodnju aglomeriranih prašaka u potpunosti odgovara pripremi sirovina za proizvodnju obloge elektroda. Zbog homogeniziranja materijala vrši se suho miješanje. Mokro miješanje vrši se uz dodatak vodenog stakla u količini od oko 15%. Aglomerirani prašak je heterogen produkt u kojem su pojedine komponente jedna prema drugoj ostale nepromijenjene. Zrno jednog aglomeriranog praška je homogeno. Značajna prednost tih prašaka je u tome da pojedine komponente za vrijeme zavarivanja reagiraju. Glavni nedostatak ovog praška je osjetljivost na vlagu. Miješani prašci proizvode se miješanjem dviju ili više vrsta praška pri čemu moraju nasipna težina i granulacija pojedinih praška biti približno jednake, [6].

Prednosti EPP postupka su:

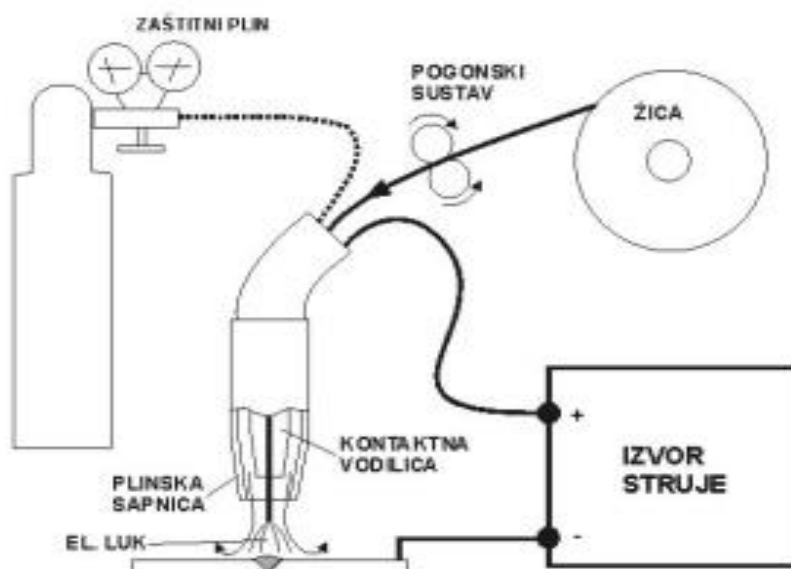
- velike brzine zavarivanja i daleko veća produktivnost u odnosu na MIG/MAG i REL postupak zavarivanja,
- budući da se radi o automatskom postupku zavarivanja, kvaliteta ne ovisi o čovjeku (jednom uspostavljeni parametri zavarivanja daju konstantnu kvalitetu zavarenih spojeva),
- visok stupanj iskorištenja energije za taljenje (0,9 – 0,95),
- kvalitetan estetski izgled zavara,
- nema otpada žice („čik-a“), te gubitka zbog prskanja kapljica u okolinu,
- lako čišćenje troske i mogućnost recikliranja troske,
- vrijeme za izobrazbu operatera je puno kraće od izobrazbe dobrog zavarivača za REL postupak.

Nedostaci EPP postupka su:

- veća cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MAG i REL postupak zavarivanja,
- slabija mehanička svojstva zavarenog spoja u odnosu na MIG/MAG i REL zavarivanje, brže je hlađenje veće količine deponiranog materijala,
- nema vizualnog nadzora električnog luka tijekom zavarivanja (velike jakosti struje daju svjetlost velike intenzivnosti pa u obzir dolazi nadzor X- zrakama i video kamerama),
- u tehnološkoj liniji koja koristi EPP automate obično je potrebna dodatna mehanizacija (okretaljke, okretno – nagibni stolovi, pozicioneri, konzole),
- složeniji uređaj.

3.4. Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina (MIG/MAG)

Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina je postupak zavarivanja taljenjem, prikazan slikom 11, gdje se električki luk uspostavlja i održava između taljive žice i radnog komada koji se zavaruje, [7].



Slika 11. Prikaz MIG/MAG zavarivanja

Zbog utjecaja topline električkog luka tali se žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja, čime se ostvaruje zavareni spoj. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje plin ugljični dioksid (CO_2), argon (Ar) ili mješavine plinova. Ovim postupkom se mogu zavarivati svi komercijalno značajni materijali, kao npr. konstrukcijski čelici, nehrđajući čelici, vatrootporni čelici, aluminij i njegove legure, bakar i njegove legure, raznorodni metali itd. Prilikom zavarivanja, može se koristiti puna ili praškom punjena žica. U brodogradilištu se ustanovilo da je praškom punjena žica bolji odabir budući da je količina nataljenog metala u jedinici vremena veća, smanjuje se mogućnost grešaka, manje je „prskanja“, te prilikom mjenjača položaja nije potrebno mijenjati parametre zavarivanja. Praškom punjenoj žici je nedostatak što ima veću koncentraciju količine topline, te je količina plinova razvijenih iz praška veća, [7].

Uređaji za MIG/MAG zavarivanje u principu se sastoje od izvora struje, sustava za dodavanje žice, sustava za upravljanje protokom zaštitnog plina, upravljačkog sustava, gorionika (pištolja za zavarivanje), sustava za hlađenje gorionika tekućinom. Po svojoj složenosti mogu biti vrlo jednostavni pa sve do programabilnih uređaja s ugrađenim računalom i velikom bazom podataka parametara zavarivanja. Odabir uređaja zavisi o primjeni, zahtjevima korisnika te naročito o financijskim mogućnostima, [7].

Glavni parametri kod MIG/MAG zavarivanja su, [7]:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 28V,
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru i brzini žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 80 do čak 250 A),
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s,
- količina zaštitnog plina,
- promjer žice “d” koji se kreće uglavnom od 0.8 mm do 3.2 mm.

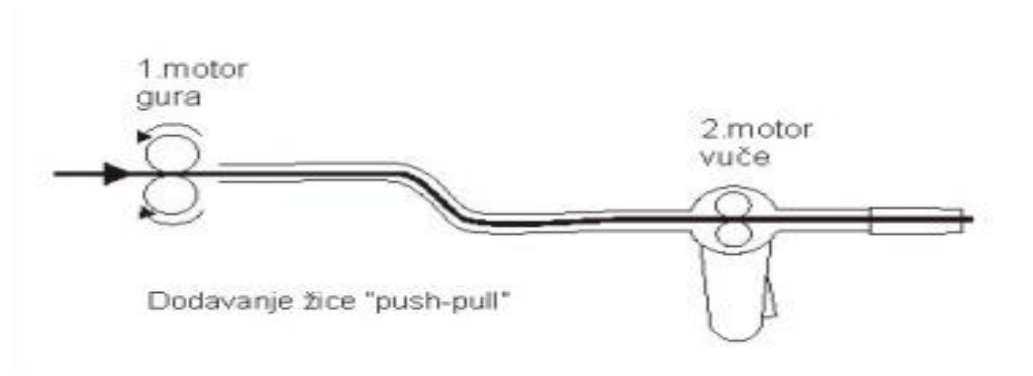
Za dodavanje žice se najčešće koriste dva načina:

- žica se kontroliranom brzinom gura pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice u gorioniku do samog mjesta zavarivanja. Ovaj sustav je poznat pod imenom «push», a komercijalno je kod nas poznat još i kao A10. Kontrolirana brzina osigurava se elektronički reguliranim istosmjernim motorom, siguran pogon osigurava sa 2 ili 4 pogonska kotačića (valjka), koji žicu vode i guraju kroz kalibrirane utore (oblika V, U ili nazubljeni) čije dimenzije i oblik ovise o materijalu i promjeru žice. Pogonski sustav se kod kompaktnih uređaja ugrađuje u zajedničko kućište, a kod modularnih uređaja u posebno kućište uređaja za dodavanje žice. Ovaj način omogućava efikasan rad s žicama promjera 0,6 – 2,4 mm za čelike, 1,2-2,4 mm za aluminij i njegove legure, te 1,0-2,4 mm za praškom punjene žice. Dodavanje žice guranjem koja je prikazana slikom 12, omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima 3-4 m od izvora i danas se najčešće koristi u praksi, [7].



Slika 12. Dodavanje žice guranjem

- Slikom 13, prikazana je žica koja se kontroliranom brzinom gura («push») pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice do pogonskih kotačića u gorioniku, koji ih vuče («pull») do mjesta zavora. U ovom slučaju drugi pogonski motor se nalazi u ručki gorionika, a po svojoj izvedbi može biti električki ili zračni. Sustav je poznat pod imenom «Push-pull», a komercijalno kod nas kao A9. Prednost ovog sustava je stalna zategnutost žice u vodilici, što omogućava sigurno dodavanje i kod žica manjih promjera (0,8mm) i na udaljenostima do 15 m od izvora. Mana postupka je njegova cijena i težina sustava gorionik/kabel, naročito kod većih struja i udaljenosti, stoga se on danas koristi uglavnom kod zavarivanja aluminija i njegovih legura na konstrukcijama gdje druga rješenja nisu moguća, [7].



Slika 13. Dodavanje žice „push-pull“

Žice za MIG/MAG zavarivanje se izrađuju kao pune i praškom punjene, standardiziranih promjera (mm).

Prednosti MIG/MAG zavarivanja:

- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na EPP postupak zavarivanja (ali ipak nešto veća u odnosu na REL postupak),
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- manji gubici vremena zavarivača (nema izmjene elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenje zavora),
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- kvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavora.

Nedostaci su:

- kvaliteta zavora još uvijek ovisi o vještini zavarivača,
- skupa oprema uređaja,
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi pa je potrebna dobra ventilacija prostora,
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava....),
- opasnost od naljepljivanja.

4. GREŠKE U ZAVARIVANJU

U proizvodnji pojavljivanje pogrešaka u zavarenom spoju, a naročito njihovo ponavljanje uzrokuje velike probleme. Uzroci im, međutim, mogu biti u fazama prije proizvodnje (projektiranje, izbor osnovnog materijala, izbor prikladnog postupka zavarivanja, vrsta i oblik spoja, itd.) kao i u načinu uporabe zavarene konstrukcije. Svaki tehnološki proces nosi stalnu opasnost od nastajanja određenih grešaka. S obzirom na veliki broj utjecajnih čimbenika na kvalitetu zavarenih spojeva, na tu opasnost je potrebno obratiti posebnu pozornost pri izradi zavarene konstrukcije, ali i u njenoj eksploataciji. Greške u zavarenom spoju nisu poželjne i nastoje se izbjeći jer uzrokuju slabiju kvalitetu zavarenog spoja i homogenost zavora.

Neke od grešaka koje mogu nastati u zavarenom spoju su:

- pukotine,
 - tople pukotine,
 - hladne pukotine,
- šupljine,
- čvrsti uključci,
- naljepljivanje i nedovoljan provar,
- oblik zavora,
- loš redoslijed zavarivanja,
- neadekvatan zaštitni premaz.

4.1. Pukotine

Pukotine su mjestimično razdvojen materijal u zavarenom spoju zbog loma nastalog utjecajem zavarivanja. Pukotine se još danas smatraju najopasnijim pogreškama u zavarenom spoju i u pravilu nisu dopuštene. Zbog njihove geometrije (dvije dimenzije izrazito velike u odnosu na treću, oštri rubovi, nepovoljni položaji), nosivi presjek zavarenog spoja, osobito ako su položene poprijeko na smjer naprezanja, bitno se smanjuje, a time i čvrstoća spoja. Samo su uvjetno dopuštene u pojedinim slučajevima. Djelomično, ili potpuno se izbjegavaju pravilnim odabirom parametara za zavarivanje, [8].

4.1.1. Tople pukotine

Tople pukotine kod zavarivanja nastaju na visokim temperaturama tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala, najčešće po dužini u sredini zavora, ali moguće su i u zoni utjecaja topline. Glavni uzrok nastajanja toplih pukotina je gubitak sposobnosti metala zavora da izdrži naprezanja nastala skupljanjem u posljednjoj fazi skrućivanja kod visokih temperatura, [8].

Pojava toplih pukotina je posebno povezana s:

- nečistoćama u materijalu,
- legirnim elementima,
- parametrima zavarivanja,
- nepravilnim izborom dodatnog materijala.

4.1.2. Hladne pukotine

Hladne pukotine nastaju nakon izvršenog zavarivanja na temperaturi od 300 °C. One se mogu nekad pojaviti i više sati poslije zavarivanja. Pojavljuju se uglavnom kod zavarivanja čelika povišene i visoke čvrstoće. Mogu biti položene uzdužno i poprečno na zavar ili na prijelazu u osnovni materijal. Također, mogu biti vidljive na površini zavarenog spoja, ali i nevidljive u zavarenom spoju. Po veličini su od mikropukotina za oko kao i za mnoge o nerazornih ispitivanja nevidljive, do makropukotina koje su vidljive ili se nekom od metoda lako otkrivaju, [8].

Glavni uzročnici nastajanja hladnih pukotina su:

- prisustvo vodika u zavaru,
- struktura zavarenog spoja,
- djelovanje naprezanja.

Pojednostavljeno se mehanizam nastajanja hladnih pukotina može prikazati: vodik koji je difundirao u talinu zavora kod visokih temperatura nalazi se u atomarnom stanju. Pri hlađenju vodik prelazi u molekularno stanje i smješta se u materijalu na mjestima sitnih pogrešaka, pri čemu nastaju vrlo visoki tlakovi koji dovode do pukotina. Vodik dolazi u zavor razlaganjem vlage na visokim temperaturama, te iz drugih načistoća kao hrđa, okujina, masnoća, vlaga, koje se nalaze na površini mjesta zavarivanja, [8].

4.2. Šupljine - Poroznost

Porozitet u metalu zavora su mjesta ispunjena stlačenim plinom. Raličitih su veličina, od vrlo sitnih, okom nevidljivih, pa do veličina nekoliko milimetara. Pozornosti nastaju zbog toga jer metal zavora u rastaljenom stanju može upiti znatne količine plinova. Vodik i dušik se upija izravno, a kisik u spoju sa ugljikom. Ohlađivanjem taline plinovi naglo izranjaju iz metala u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja plinova manja od brzine skrućivanja metala, plinovi ostaju zarobljeni u zavoru, [8].

Ovisno o broju, veličini, obliku i mjestu pozornosti te vrsti i zahtjevima na kvalitetu konstrukcije, ove pogreške različito utječu na čvrstoću zavarenog spoja. Istraživanja su pokazala da pojedinačne pore kuglastog oblika u zavarenom spoju nemaju većeg utjecaja na smanjenje čvrstoće. Ako su pore na površini otvorene, odnosno ako izgube kuglasti oblik, štetno djeluju posebno na trajnu čvrstoću zavora, [8].

Uzročnici poroznosti u zavoru su:

- nečistoće i vlaga na mjestu zavarivanja i u dodatnim materijalima,
- slaba zaštita procesa zavarivanja,
- neispravni parametri i tehnika rada u zavarivanju.

Nečistoće su najčešće hrđa i okujina, masnoće, itd. Vlaga je prisutna najčešće u oblozi elektrode, prašku i u zaštitnom plinu, ali i na površini mjesta zavarivanja, naročito kod zavarivanja po hladnom vremenu. Uzrok može biti i predug el. luk koji slabi zaštitu taline i dozvoljava ulaz plinova i kontakt sa talinom, [8].

4.3. Čvrsti uključci

Čvrsti uključci, kao strano tijelo u metalu zavora, mogu biti nemetali kao troska i prašak, a mogu biti i metali kao na primjer uključak volframa ili spojevi kao što su oksidna kožica u zavoru aluminija. Uključci troske u zavoru najčešće nastaju uslijed nedozvoljenog čišćenja među slojevima zavora. Troska se ponekad teško čisti, naročito u dubokim žlijebima i oštrim uglovima. Neiskusni ili površan zavarivač pokušava takva mjesta pretaliti uporabom pojačanih jakosti struje, međutim to obično ne uspijeva. Pravilno je ta mjesta izbrusiti prije zavarivanja slijedećeg sloja. Osim ovakvih grubih uključaka, koji se mogu otkriti kontrolom prozračivanjem ili prozvučivanjem, u metalu zavora može biti niz drugih sitnih uključaka koji su posljedica kemijskih reakcija u procesu zavarivanja, kao što su silikatni, sulfidni, itd, [8].

Općenito, nemetalni uključci kao i uključci stranog metala, smanjuju čvrstoću zavarenog spoja zbog nehomogenosti i smanjenja presjeka materijala zavora. Osim toga, na tim mjestima su povećane koncentracije naprezanja u zavoru. Utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja ovisi o količini, obliku, i veličini uključka. Uključci ostalih rubova djeluju kao inicijatori pukotina. Dugački uključci većih volumena smanjuju presjek zavora. Sitni uključci su uglavnom maleni. Najčešći je uključak volframa kod TIG zavarivanja aluminija i aluminijskih legura, [8].

Parametri za izbjegavanje nastajanja čvrstih uključaka su:

- pravilna priprema spoja za zavarivanje, ispravan kut otvora žlijeba,
- čišćenje troske među slojevima,
- kod većeg ispupčenja prethodnog sloja je potrebno brušenjem odstraniti oštre zareze prije zavarivanja prethodnog sloja,
- zavarivanje izvoditi ispravnim parametrima i ispravnom tehnikom rada,
- kod zavarivanja aluminija i al. legura treba oksidnu kožicu otkloniti četkanjem.

4.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Kod zavarivanja taljenjem nastaje nalijeganje taline dodatnog materijala na hladnu nepretaljenu površinu spoja ili prethodnog sloja zavara. To se događa i kod navarivanja. Pogreška je tim neugodnija što se teško pronalazi postojećim metodama kontrole. Nedovoljni provar je nedovoljno protaljivan po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprovarivanje korijena zavara, [8].

Najčešći uzroci nastajanja pogrešaka naljepljivanja:

- nepravilna priprema spoja,
- neispravni parametri zavarivanja,
- nepravilna tehnika rada.

Tako npr. preuzak žlijeb ne osigurava dovoljno protaljivanje u dnu žlijeba, posebno kod preslabe struje zavarivanja ili prevelikog promjera elektrode. Talina naliježe na hladni nepretaljeni metal u dnu žlijeba. Prevelika brzina zavarivanja djeluje isto kao i premala jakost struje zavarivanja radi raspodjele energije na veću površinu. Premala brzina zavarivanja kod ispravne, pa čak i velike jakosti struje zavarivanja, može uzrokovati pogreške naljepljivanja, ako se stvara prevelika količina taline ispod ili ispred električnog luka, koja ne dopušta njegovo prodiranje i pretaljivanje stranica spoja, [8].

Nedovoljni provar, ili kako se najčešće naziva neprovaren korijen zavara, može biti unutarnja pogreška u zavaru, tamo gdje se zavarivanje izvodi obostrano, ili vanjska pogreška kod zavarivanja samo jedne strane. Vanjska se pogreška može vizualno otkriti, međutim ne i u onim slučajevima gdje je onemogućen pristup zavara, [8].

Uzroci nedovoljnog provara su:

- nepravilna priprema spoja,
- neispravni parametri zavarivanja,
- nepravilna tehnika rada.

4.5. Pogreške oblika zavora

Pogreškom oblika zavora smatra se svako odstupanje od zadanog oblika zavora. Danas je svima dobro poznato da pogreške oblika zavora nisu samo estetske prirode već je njihov utjecaj u smanjenju nosivosti zavarenog spoja vrlo značajan, naročito kod dinamički opterećenih konstrukcija, [8].

Neki od uzroka pogreške oblika zavora su:

- preveliko nadvišenje zavora,
- prevelika ispupčenost kutnog zavora,
- preveliki provar,
- oštar prijelaz zavora,
- nesimetričan kutni zavar.

4.6. Redoslijed zavarivanja

Pri svakom izvođenju zavarivanja u zoni spoja se pojavljuje rastezanje, zbijanje i stezanje materijala, pa je potrebno da se te posljedice svedu na što manju mjeru, koristeći pravilan redoslijed zavarivanja i privarivanja. Neke od metoda prikazane su slikom 14, [2].



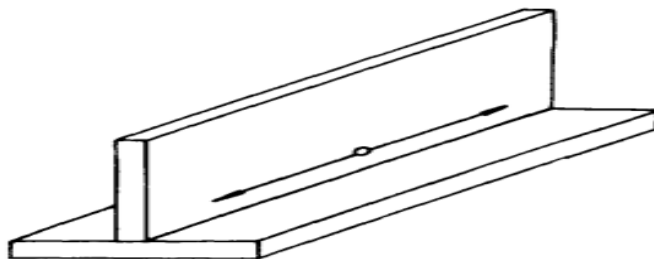
Slika 14. Prikaz redoslijeda privarivanja

Ako treba zavariti uzdužne i poprečne sučeljene zavarove, treba odabrati takav redoslijed da se naprije zavarove poprečni zavarovi (A), a zatim se zavarove uzdužni zavarovi (B), [2].



Slika 15. Prikaz redoslijeda zavarivanja

Kontinuirane kutne zavare treba uvijek zavarivati od sredine prema krajevima, i to po mogućnosti paralelno s obadviju strana, slika 16, [2].



Slika 16. Prikaz redoslijeda kutnog zavarivanja

4.7. Zaštitni premaz

Osnovni zaštitni premaz koji se koristi za privremenu zaštitu čeličnih limova i profila u periodu gradnje broda su temeljni radionički premazi (eng. Shop primer). Njihova uloga je zaštita čeličnih limova i profila od korozije tijekom proizvodnog procesa, sve do faze nanošenja sljedećih slojeva zaštitnih premaza. Nanose se u vrlo malim debljinama filma od 10 do 25 μm . Veća debljina filma od navedene može imati negativan učinak na brzinu i kvalitetu zavarivanja te može imati štetan utjecaj na kvalitetu zavora, dok nedovoljna debljina premaza neće zaštititi materijal od korozije u predmontažnoj fazi, [9].

Shopprimeri moraju zadovoljiti sljedeće zahtjeve, [9]:

- osigurati dovoljnu zaštitu od korozije tijekom proizvodnje,
- osigurati mogućnost nanošenja prskanjem kako bi se dobio tanak ujednačen sloj,
- imati kratko vrijeme sušenja zbog mogućnosti daljnjeg korištenja; moraju biti spremni za transport unutar tri minute bez oštećenja premaza na valjcima, magnetskim dizalicama i vakuumskim štipaljkama,
- imati mali ili nikakav utjecaj na brzinu zavarivanja i rezanja,
- ne oslobađati omamljujuće ili otrovne pare tijekom zavarivanja i plinskog rezanja (ne smiju sadržavati elemente kao što su arsen, antimon, olovo, kadmij ili krom),
- imati zanemariv utjecaj na homogenost i čvrstoću zavora,
- moći izdržati grubo rukovanje uključujući i savijanje čelika (visoka elastičnost),

- moći poslužiti kao prvi sloj premaznog sustava bez potrebe za uklanjanjem,
- biti vodootporni,
- biti otporni na atmosferilije,
- biti otporni na određene kemikalije (ako se upotrebljavaju u spremnicima),
- biti kompatibilni s katodnom zaštitom.

4.8. Ostali uzroci nastajanja pogrešaka

Uzročnik nastanka pogreške može biti, [8]:

a) priprema za zavarivanje:

- prevelik ili premali razmak u grlu žlijeba,
- premali kut žlijeba,
- masni, vlažni, prljavi ili obojeni rubovi za zavarivanje,
- preveliko odstupanje od okomitosti kod kutnih zavora.

b) zavarivač ne zna raditi ili se ne pridržava zadane tehnologije

c) dodatni i potrošni materijal

- dodatni materijal je vlažan,
- premalo ili nimalo praška u praškom punjenoj žici,
- previše vlage u zaštitnom plinu.

d) radno mjesto

- na radnom mjestu je prevelik propuh i previše prašine koja ulazi u zavar,
- zavarivač radi u prisilnom položaju (stojeći, sjedeći, klečeći, ležeći).

5. METODE KONTROLE ZAVARIVANJA

Svaki pojedinačni zavareni spoj, kao i cijela zavarena konstrukcija, mora zadovoljiti unaprijed postavljene uvjete kvalitete, koji su određeni propisima klasifikacijskih zavoda i nadzornih organa pod čijim se nadzorom određeni objekt (brod) gradi, te internim propisima brodogradilišta. Propisana kvaliteta zavarenog spoja, odnosno čitave konstrukcije, može se postići ako se obavi odgovarajuća priprema radova, tj. ako se upotrijebi odgovarajući osnovni i dodatni materijal, te ako se osigura primjena propisane tehnologije rada. Sve to će se puno lakše postići ako se za izvođenje radova odaberu odgovarajući stručni radnici, [2].

Kontrola zavarenih spojeva s obzirom na objekt dijeli se na, [2]:

- kontrolu prije zavarivanja,
- kontrolu za vrijeme izvođenja zavarivanja, i
- kontrolu nakon obavljenog zavarivanja.

Kontrola prije zavarivanja, odnosno kontrola u pripremi proizvodnje, obuhvaća, [2]:

- kontrolu osnovnog i dodatnog materijala,
- kontrolu atesta zavarivača i verifikaciju postupka zavarivanja, te
- kontrolu pripreme za zavarivanje.

Dakle, prije početka izvođenja zavarivačkih radova u radionicama predmontaže ili na brodu, treba kontrolirati kvalitetu pripreme spoja za zavarivanje, što obuhvaća, [2]:

- oblik žlijeba za zavarivanje,
- zračnost između pojedinih elemenata kod sučeljenih i kutnih spojeva, te
- čistoću žlijeba s obzirom na masnoće, okujinu i sl.

Kontrola u toku zavarivanja odnosi se na kontrolu privarivanja i zavarivanja elemenata konstrukcije međusobno. Ovdje se ponajprije misli na, [2]:

- kontrolu pripajanja pojedinih elemenata,
- kontrolu označavanja zavarenih spojeva.

Kontrola nakon zavarivanja obuhvaća sve načine kontrole zavarenog spoja, pošto je već izvedeno zavarivanje, a u brodogradnji se ta kontrola provodi, uglavnom, metodama bez razaranja zavarenog spoja, [2].

Kontrola kvalitete nakon zavarivanja može se podijeliti na kontrolu kvalitete metodama bez razaranja i kontrolu kvalitete metodama sa razaranjem.

5.1. Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja

To je kontrola koja svojim djelovanjem ne utječe na svojstva zavarenog spoja.

Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja obuhvaća, [2]:

- vizualnu kontrolu,
- kontrolu nepropusnosti,
- radiografsku kontrolu,
- ultrazvučnu kontrolu,
- kontrolu magnetskim ispitivanjima,
- kontrolu penetrantskim tekućinama.

5.1.1. Vizualna kontrola zavarenih spojeva

Vizualna kontrola zavarivanja, odnosno zavarenih spojeva, obuhvaća pregled geometrijskih oblika i dimenzija zavarene konstrukcije kao cjeline, te površinski pregled svih zavarenih spojeva, s posebnim naglaskom na karakteristične greške lica zavora, kao što su, [2]:

- rubni zarezi (ugorine),
- površinska poroznost,
- površinske pukotine,
- prekomjerno izbočenje zavora,
- prekomjerno udubljenje kutnih zavora,
- nejednolikost krakova kutno zavarenih spojeva,
- ispravnost dimenzija zavarenih spojeva u odnosu prema zadanim dimenzijama na nacrtima.

Uspješno obavljen vizualni pregled konstrukcije, ili dijela konstrukcije broda, temelj je za uspješnu predaju navedene konstrukcije nadzornim organima brodovlasnika i klasifikacijskih zavoda, a istovremeno se ostvaruju radovi na daljnjim ispitivanjima konstrukcije.

5.1.2. Kontrola nepropusnosti zavarenih spojeva

Nepropusnost brodske strukture kontrolira se nakon obavljenih vizualnih pregleda i uklanjanja svih primjedba koje su dane od strane nadzornih organa u vrijeme vizualnih pregleda, tj. nakon uspješne predaje pojedinog dijela brodske strukture nadzornim organima.

Kontrola nepropusnosti izvodi se na nekoliko načina, [2]:

- polijevanjem konstrukcije mlazom vode,
- stavljanjem prostora pod tlak zraka,
- stavljanjem prostora pod tlak vode, te
- ispitivanjem pomoću petroleja i krede.

Ispitivanje se obavlja tako da se prostor koji se treba ispitati napuni vodom ili zrakom na propisani pritisak, a zatim se s vanjske strane prostora pregledavaju svi zavareni spojevi, tj. traže se propuštanja. Radi lakšeg otkrivanja eventualnog propuštanja pri ispitivanju zrakom, svi zavareni spojevi se s vanjske strane premazuju sapunicom, pa se na mjestima propuštanja pojavljuju mjehurići od sapunice, [2].

5.1.3. Radiografska kontrola zavarenih spojeva

Radiografska kontrola obuhvaća ispitivanja čiji je cilj otkrivanje grešaka u zavarenom spoju:

- pukotina,
- uključina troske,
- poroznost, i
- neprovarenog korijena.

Kontrola se obavlja pomoću X zraka ili gama zraka. U prvom slučaju upotrebljava se industrijski rendgen-uređaj, a u drugom slučaju uređaj s radioaktivnim izotopima. Kako je prodiranje zraka kroz materijal sve slabije što je materijal deblji, to se intenzitet zraka i vrijeme njihovog djelovanja na film određuje ovisno o debljini i vrsti materijala koji se

ispituje. Ako se rendgenske ili gama-zrake određene jačine usmjere prema zavarenom spoju, sa čije suprotne strane se nalazi film, nastaju ove mogućnosti, [2]:

Ako nadvišenje zavara nije izbrušeno u ravnini s površinom osnovnog materijala, zrake će nakon prolaska kroz materijal biti manje snage na mjestu nadvišenja, a veće snage pokraj nadvišenja. Rezultat toga je da će film nakon obrade pokazivati manje zacrnjenje na mjestu zavara, dok će zacrnjenje okolne zone biti jače. Pod obradom filma razumijeva se njegovo razvijanje, fiksiranje, ispiranje vodom i sušenje.

Ako je nadvišenje zavara izbrušeno u ravnini s površinom osnovnog materijala, zrake će s jednakom snagom prodrijeti kroz zavareni spoj i susjednu zonu, pa će tako istim intenzitetom djelovati na film, koji će nakon obrade imati jednoliko zacrnjenje.

Ako se u zavarenom spoju nalaze neke greške, zrake će zbog lakšeg prolaza na tim mjestima izazvati jača zacrnjenja filma, koja su na svjetlijoj pozadini jasno vidljiva, pa se na osnovi oblika i položaja mrlja na filmu može točno utvrditi o kakvoj se greški radi, [2].

5.1.4. Ultrazvučna kontrola zavarenih spojeva

Ultrazvučna kontrola ili kontrola ultrazvukom provodi se odašiljanjem ultrazvučnih impulsa u materijal, te mjerenjem vremenskog intervala između početnog impulsa i odjeka, koji se mjeri u mikrosekundama. Uređaj se sastoji od aparata s ekranom i vibratora, a samo ispitivanje obavlja se vibratorom (glavom), koja se napaja iz visokofrekventnog generetora za stvaranje impulsa. Vibrator se povlači određenim pokretima po površini koja se ispituje. Na mjestu kontakta između vibratora i radnog komada koji se ispituje u materijal ulaze ultrazvučni valovi, okomito ili pod kutom, što ovisi o vrsti primijenjenog vibratora, [2].

Ako impuls naiđe na grešku (prepreku), jedan dio energije se reflektira i vraća u vibrator, u kojem je uz odašiljač smješten i primač zvuka. Svako odbijanje ultrazvučnih valova bilo od greške bilo od površine materijala, registrira se kao vertikalna svijetla linija na ekranu aparata. Ovim načinom ispitivanja mogu se otkriti sve greške, bez obzira na njihov oblik i veličinu, odnosno bez obzira na debljinu materijala, [2].

5.1.5. Kontrola zavarenih spojeva magnetskim ispitivanjem

Ovaj način kontrole, odnosno ispitivanja, primjenjiv je samo na magnetičnim materijalima, a služi za otkrivanje površinskih grešaka, koje se nalaze neposredno ispod površine zavarenog spoja. Površina koja se želi ispitati obuhvati se dvama polovima elektromagneta. Silnice koje se razvijaju između polova elektromagneta prolaze kroz ispitivanu površinu, a na mjestu eventualne greške one se gomilaju. Kako se ispitivana površina prska finim »filmom« petroleja u kome se nalazi vrlo sitne čestice željeznog praha, na mjestima gomilanja magnetskih silnica gomila se i željezni prah, što znači da je na tom mjestu greška. Ta gomilanja su izraženija ako se greška nalazi na površini, a slabija ako se greška nalazi ispod površine ispitivanog radnog komada, [2].

5.1.6. Kontrola zavarenih spojeva penetrantskim tekućinama

Kontrola penetrantskim tekućinama obavlja se radi otkrivanja grešaka koje se rasprostiru po presjeku materijala, ali koje obavezno dopiru do površine. Kako neke tekućine imaju sposobnost uvlačenja ili penetriranja u najtanje površinske pukotine, poroznost i slične površinske greške, to njihovo svojstvo upotrebljava se kako bi se što lakše otkrile površinske greške na zavarenim spojevima, [2].

Postoje dvije osnovne metode ispitivanja penetrantskim tekućinama, [2]:

- ispitivanja obojenim tekućinama (penetrantima),
- ispitivanja fluorescentnim tekućinama (penetrantima).

Postupak prilikom ispitivanja je ovaj, [2]:

- a) površina ispitivanja očisti se od masti ostalih nečistoća,
- b) na ispitivanu površinu nanese se zatim prskanjem obojena tekućina (crvene boje),
- c) nakon nanošenja obojene tekućine treba pričekati 5-15 minuta da se ona uvuče,
- d) nakon toga, površinu treba isprati od viška penetrantske tekućine,
- e) na ispitivanu površinu nanese se zatim suhi ili mokri razvijajući (obično bijele boje) koji ima svojstvo da izvuče na površinu prethodno nanесenu penetrantsku tekućinu,

f) na bijeloj podlozi jasno će se vidjeti crveni obrisi eventualnih pukotina, odnosno oštećenja.

5.2. Kontrola zavarenih spojeva razaranjem

Kontrola, odnosno ispitivanje razaranjem zavarenih spojeva obavlja se obično radi provjeravanja mehaničkih i tehnoloških osobina, te strukture zavarenih spojeva.

Za ispitivanja razaranjem upotrebljavaju se posebno izrađene epruvete, koje se mogu uzeti iz:

- posebnih ploča, namjerno dodanih na spoj koji se zavaruje,
- podesnih otpadaka, te
- posebnih ploča, zavarenih u istim uvjetima, s istim dodatnim i pomoćnim materijalom, kojim se zavaruje konstrukcija.

Bitno je da se uzorci namijenjeni ispitivanjima zavare u istim uvjetima, istim osnovnim i dodatnim materijalom, te da ih zavaruju isti zavarivači, koji će zavarivati odnosnu konstrukciju, [2].

Kontrola razaranjem zavarenih spojeva može se podijeliti na, [2]:

- kontrolu sučeljeno zavarenih spojeva, i
- kontrolu spojeva zavarenih kutnim zavarom.

5.2.1. Kontrola razaranjem sučeljeno zavarenih spojeva

Kontrola, odnosno ispitivanje, sučeljeno zavarenih spojeva obuhvaća ova ispitivanja, [2]:

- ispitivanja na vlak,
- ispitivanja savijanjem,
- ispitivanja udarne žilavosti,
- ispitivanja tvrdoće,
- ispitivanja dinamičke čvrstoće,
- ispitivanja makro strukture i mikro structure, i
- ostala ispitivanja.

Ispitivanja na vlak zavarenih spojeva izvode se radi ustanovljavanja čvrstoće zavarenog spoja kao cjeline, ili metala zavara, tako da se za prva ispitivanja upotrijebe epruvete s paralelnim bokovima, a za druga ispitivanja epruvete s udubljenim bokovima. Ispitivanja savijanjem obavlja se radi provjere plastičnih svojstava zavarenih spojeva, tj. njihovih deformacijskih sposobnosti, [2].

Ispitivanje udarne žilavosti provodi se radi određivanja žilavosti zavarenog spoja, [2]:

- posebno u materijalu zavara, i
- posebno u prelaznoj zoni.

Ta ispitivanja obavljaju se pri propisanim temperaturama epruveta, tj. temperaturama okoline.

Ispitivanje tvrdoće sučeljeno zavarenih spojeva obuhvaća mjerenje tvrdoće, [2]:

- materijala zavara,
- materijala prijelazne zone, i
- osnovnog materijala.

Dobiveni rezultati se međusobno uspoređuju, te se na osnovi njih određuje kvaliteta. Površina na kojoj se obavlja ispitivanje mora biti fino izbrušena i malo nagrižena, a samo ispitivanje može se provesti jednom od ovih metoda, [2]:

- Brinellovom metodom,
- Vickersovom metodom,
- Rockweliovom metodom,

tako da se u posebnom uređaju utiskuje kuglica ili šiljak u površinu epruvete s određenim opterećenjem. Ispitivanje dinamičke čvrstoće provodi se radi određivanja čvrstoće zavarenih spojeva pod djelovanjem promjenljivog opterećenja. Razlikujemo u osnovi dva načina ispitivanja dinamičke čvrstoće, [2]:

- ispitivanje dinamičke čvrstoće zavarenog spoja kao cjeline, i
- ispitivanje dinamičke čvrstoće zavara.

Ispitivanje makrostrukture i mikrostrukture provodi se radi otkrivanja eventualnih grešaka u strukturi zavarenog spoja. Makroispitivanjem se utvrđuju dubina uvara te pojava pukotina, uključina, pora i grešaka u uvarivanju. Mikroispitivanjem utvrđuje se vrsta strukture zavora i zone utjecaja topline (ZUT), uključujući prisutnost prijelaznih kaljenih formi i nitrída, mikropukotina, pora i mikrouključina, [2].

Ostala ispitivanja zavarenih spojeva obavljaju se prema potrebi, a ona obuhvaćaju, [2]:

- ispitivanja otpornosti na koroziju,
- ispitivanja čitave konstrukcije odnosno pojedinih dijelova do pojave loma,
- kemijsku analizu metala itd.

5.2.2. Kontrola razaranjem kutno zavarenih spojeva

Kontrola razaranjem kutno zavarenih spojeva obuhvaća, [2]:

- ispitivanje na vlak preklopnih i križnih spojeva,
- ispitivanje smicanjem preklopnih spojeva,
- ispitivanje dinamičke čvrstoće preklopnih i križnih spojeva,
- ispitivanje tvrdoće,
- ispitivanje makro strukture i mikro strukture, te
- ostala ispitivanja.

5.3. Kontrola zavarenih spojeva prema pravilima klasifikacijskih društva

Zbog velike sličnosti koja je gotovo identična za pravila kontrole zavarenih spojeva prema navedenim klasifikacijskim društvima *Bureau Veritas* (BV), *American Bureau of Shipping* (ABS), *Hrvatski registar brodova* (HRB), navedene su metode kontrole samo prema Hrvatkom registru brodova, tablica 2, [10].

Ispitni uzorak	Način ispitivanja	Opseg ispitivanja	Napomena
Sučeljeni spoj lima (slika 21)	Vizualno	100%	-
	Radiografsko ili ultrazvučno	100%	4
Sučeljeni spoj cijevi (slika 22)	Pronalaženje površ. pukotina	100%	1
	Ispitivanje rastezne čvrstoće	2 epruvete	-
	Ispitivanje savijanjem	4 epruvete	2
	Udar na žilavost	2 seta po 3 epruvete	6
	Ispitivanje tvrdoće	Zahtijeva se	3
	Makro ispitivanje	1 uzorak	-
Cijevni nastavak (slika 23)	Vizualno	100%	-
	Pronalaženje površ. pukotina	100%	1
	Ultrazvučno ili radiografsko	100%	4 i 7
	Ispitivanje tvrdoće	Zahtijeva se	3
	Makro ispitivanje	2 uzorka	-
Kutni T-spoj na limu (slika 24)	Vizualno	100%	-
	Pronalaženje površ. pukotina	100%	1
Kutni spoj na cijevi (slika 23)	Makro ispitivanje	2 uzorka	-
	Ispitivanje tvrdoće	Zahtijeva se	3
Napomene, [10]:			
1) ispitivanje penetratima ili magnetskim česticama. Za nemagnetične materijale, ispitivanje penetratima.			
2) dvije epruvete s korijenske strane i dvije epruvete sa strane lica zavara mogu se zamijeniti sa 4 epruvete za bočno savijanje za $t \geq 12$ mm.			

3) ne zahtijeva se za osnovne materijale:

- feritne čelike s $R_m < 430 \text{ N/mm}^2$ ($R_e \leq 275 \text{ N/mm}^2$)

4) ultrazvučno ispitivanje je promjenjivo jedino za feritne čelike i za $t > 8 \text{ mm}$.

5) ispitivanje kako je naznačeno ne pruža podatke o mehaničkim svojstvima spoja. Gdje su ta svojstva značajna za primjenu, dodatno ispitivanje će se provesti.

6) jedan set komplet u metalu zavora i jedan set komplet u zoni utjecaja topline. Zahtijeva se samo $t \geq 12 \text{ mm}$ i samo za osnovni materijal sa zajamčenom žilavošću. Ako ispitna temperatura nije određena, ispitivanje se provodi na sobnoj temperaturi.

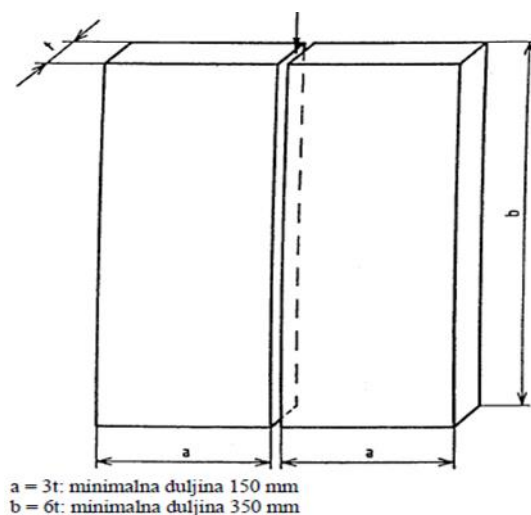
7) za vanjski promjer cijevi $\leq 50 \text{ mm}$ ne zahtijeva se ultrazvučno ispitivanje.

Za vanjski promjer cijevi $> 50 \text{ mm}$, ako tehnički nije moguće izvesti ultrazvučno ispitivanje, izvodi se radiografsko ispitivanje uz uvjet da će oblik spoja dozvoliti valjane rezultate.

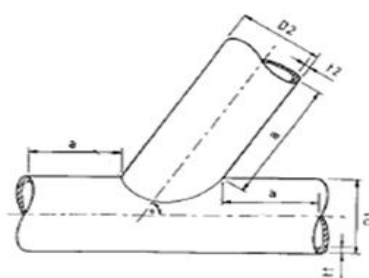
Tablica 2. Ispitivanje bez razaranja i ispitivanje sa razaranjem

5.3.1. Položaj i način rezanja epruveta kod ispitnih uzoraka

Ispitni uzorci na kojima će se provoditi daljnja ispitivanja moraju biti određenih dimenzija kako bi se osigurala kvalitetna izvedba odgovarajućih (zahtjevanih) epruveta. Položaj rezanja epruveta kod ispitnih uzoraka navedeni su slikama u nastavku, slika 21, slika 22, slika 23, slika 24, a minimalne dimenzije ispitnih uzoraka prikazane su slijedećim slikama, slika 17, slika 18, slika 19, slika 20.

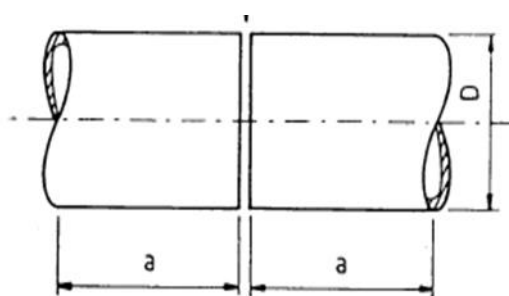


Slika 17. Mjere uzorka za sučeljeni spoj na limu



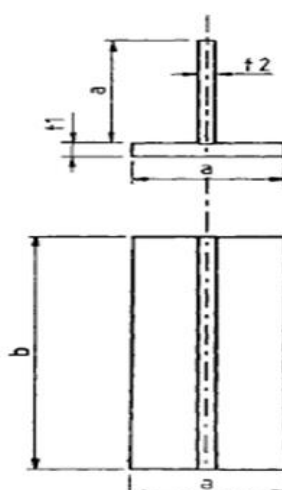
a = minimalna duljina 150 mm
 D_1 = vanjski promjer glavne cijevi
 t_1 = debljina stijenke glavne cijevi
 D_2 = vanjski promjer cijevnog nastavka
 t_2 = debljina stijenke cijevnog nastavka

Slika 18. Mjere uzorka za cijevni nastavak



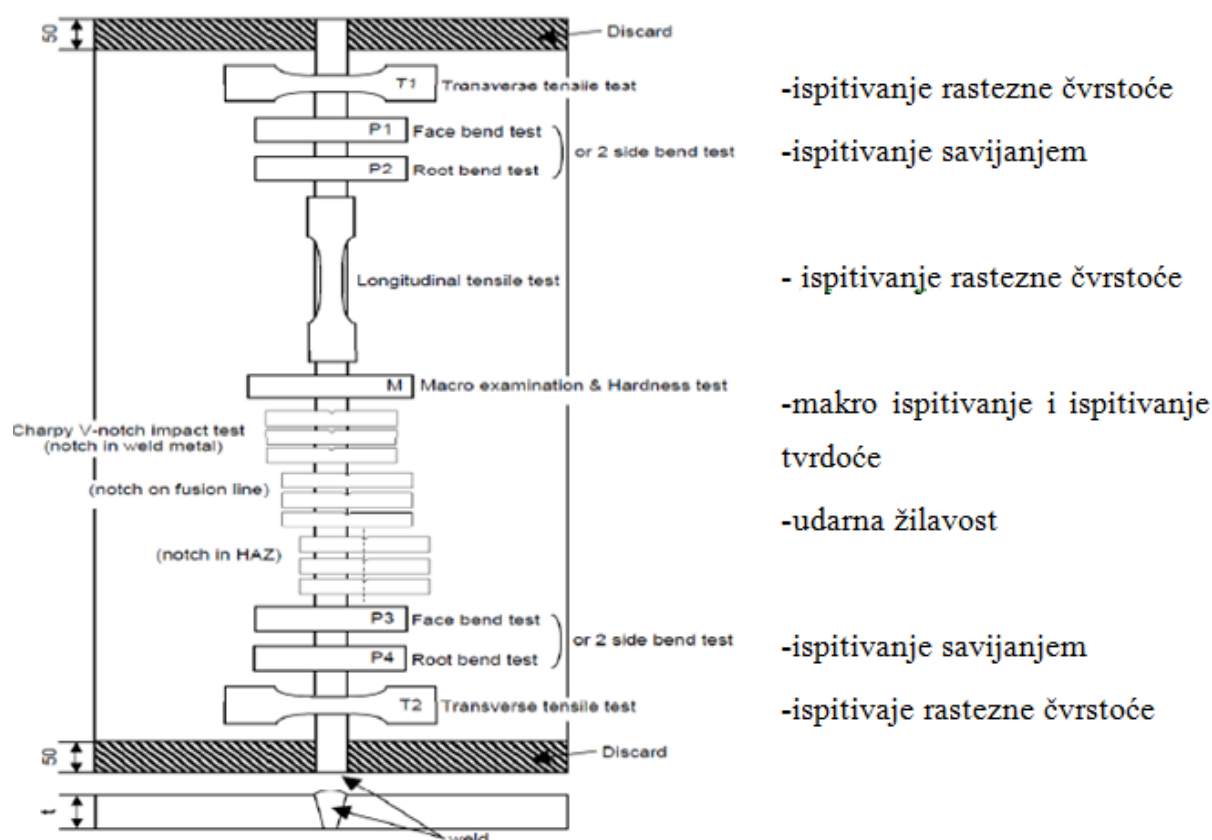
a = minimalna duljina 150 mm
 D = vanjski promjer

Slika 19. Mjere uzorka za sučeljeni spoj na cijevi

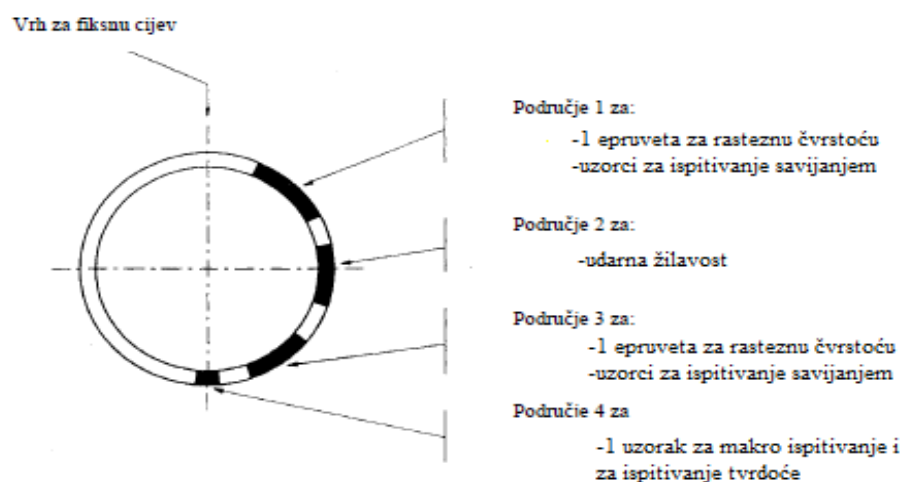


$a = 3t$; minimalni iznos 150 mm
 $b = 6t$; minimalni iznos 350 mm
 t_1 i t_2 = debljine limova

Slika 20. Mjere uzorka za kutni zavar

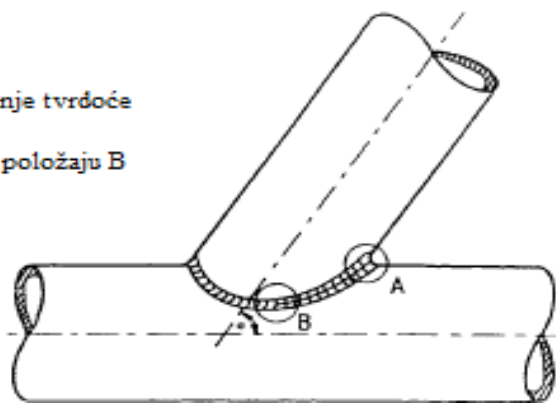


Slika 21. Položaj epruveta za sučeljeni spoj na limu

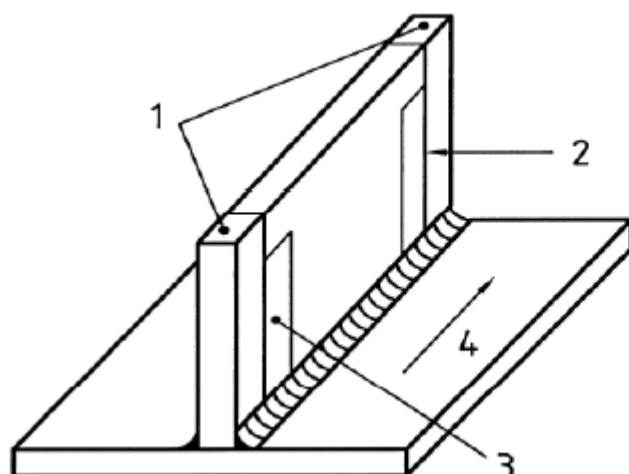


Slika 22. Položaj epruveta za sučeljeni spoj na cijevi

- 1) uzorak za makro ispitivanje tvrdoće
uzeti u položaju A i B
2) uzorak za makro samo u položaju B



Slika 23. Položaj epruveta za cijevni nastavak



- 1) višak 25 mm
2) makro ispitivanje
3) makro i ispitivanje tvrdoće
4) smjer zavarivanja

Slika 24. Položaj epruveta za kutni T-spoj

5.4. Osiguranje kvalitete po fazama brodograđevnog proizvodnog procesa

1) Skladištenje crne metalurgije

Naručeni građevni materijal, limovi i profili, dobavljaju se u samo brodogradilište te se iskrcava i sortira na ulaznom skladištu limova i profila. Nakon isporuke materijala, provjeravaju se njihove dimenzije, kontroliraju se oznake, kontrolira se kvaliteta čelika prema mehaničkim svojstvima i kemijski sastav, i vrše se kontrole pronalaženja pukotina. Kasnije dolazi do slaganja materijala prema redoslijedu obrade i skladištenje.

2) Predobrada crne metalurgije

a) ravnanje - Neravnine lima i profila nastaju zbog zaostalih unutrašnjih naprezanja u materijalu kod valjanja radi neravnomjernog hlađenja, a kod transporta se mogu i povećati neravnine. Ravnanje vršimo da se izbjegn timerčnosti kod rezanja i ravnanje u kasnijim fazama prerade. Ravnanje lima se najčešće vrši na valjcima za ravnanje, a ravnanje profila na prešama za oblikovanje.

b) sušenje - Sušenje materijala strujom toplog zraka pomoću plinskih gorača radi učinkovitijeg zrnčenja i radi uklanjanja vlage.

c) čišćenje (zrnčenje) – strojno odstranjivanje valjaoničke kore i hrđe s limova i profila kako bi se kasnije mogao nanijeti zatitni premaz.

d) konzerviranje - Postupak zaštite materijala nanošenjem zaštitnog premaza „Shopprimera“, koji štiti materijal od hrđe tokom daljn timer obrade, sve do konačnog premazivanja koje se vrši nakon montaže sekcije na navozu.

e) drugo sušenje – nakon konzerviranja lim prolazi kroz tunel za sušenje kako bi se osušio zaštitni premaz. Materijal se odvodi dalje u međuskladištenje i spreman je za daljn timer obradu.

3) Obrada čelika

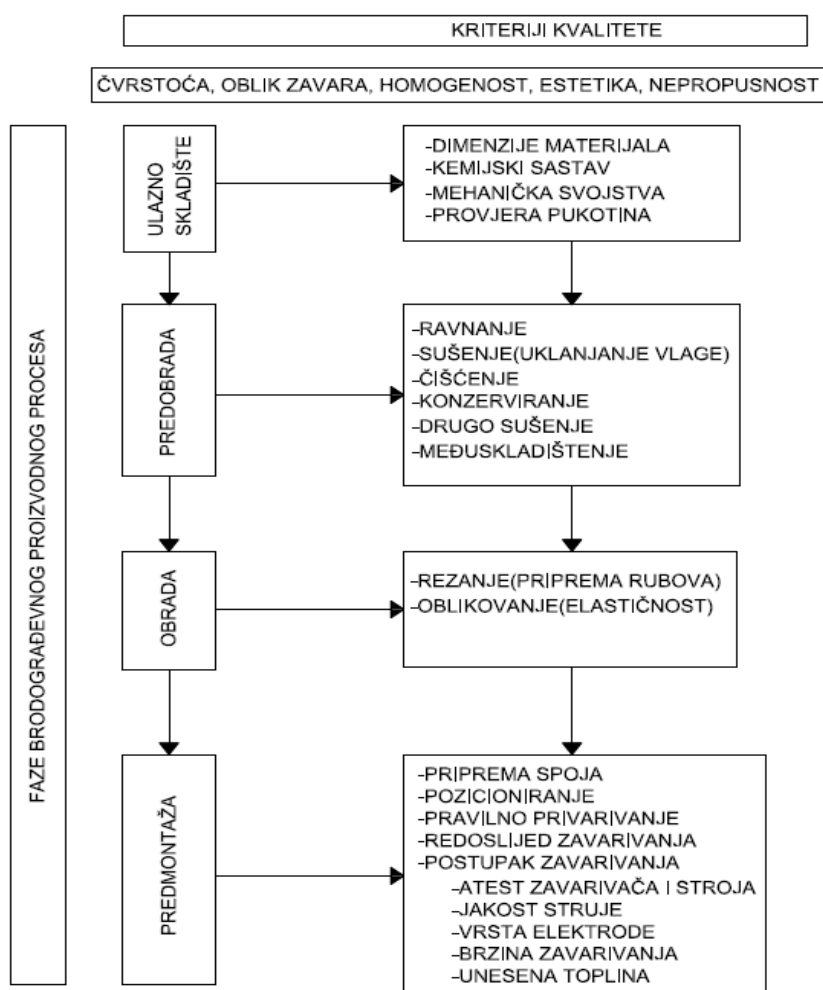
a) rezanje materijala – Rezanjem mijenjamo oblik materijala. U postupku rezanja često se istovremeno pripremaju rubovi za kasnije zavarivanje. Faktori koji utječu na kvalitet rezanja su uzrokovani od stroja za rezanje, postupka rezanja i materijala koji se reže.

b) oblikovanje materijala – Prilikom oblikovanja limova i profila postoji opasnost da su dijelovi tako oblikovani i zavareni da je onemogućena elastičnost konstrukcije. Kod dinamičkog opterećenja prevelika krutost dovodi do mogućnosti stvaranja pukotina na najslabijim mjestima konstrukcije. Zavarena konstrukcija mora biti izvedena tako da može

izdržati opterećenja uslijed promjene temperature, udarnih opterećenja, naprezanja u opasnim presjecima itd.

4) Predmontaža

Predmontaža u brodograđevnom procesu dijeli se na predmontažu podsklopova, predmontažu sklopova i predmontažu sekcija trupa. Kriterij dobivanja kvalitetne sekcije na kraju predmontaže je kvalitetna operacija svih faza prije predmontaže sekcije trupa, a i kvalitetni postupci zavarivanja sto rezultira kvalitetnim zavarenim spojem. Parametri koji utječu na uvjete kvalitete zavarenog spoja su napon električnog luka, jakost struje za zavarivanje, brzina zavarivanja, stupanj iskorištenja energije u električnom luku, unesena toplina itd. Isto tako utječe priprema spoja, pozicioniranje, pridržavanje, pravilno privarivanje, redoslijed zavarivanja itd.



Tablica 3. Osiguranje kvalitete po fazama procesa

5.5. Faza proizvodnog procesa u kojoj treba posvetiti osobitu pažnju kod kontrole kvalitete zavarenih spojeva

Tijekom brodograđevnog proizvodnog procesa, važno je provoditi kontrole kod zavarenih spojeva. Radne organizacije, uključujući i njihove pogone i kooperante (podugovaratelje) koji izvođe zavarivačke radove na konstrukcijama moraju za te radove biti odobrene od registra. Svi postupci zavarivanja koji se primjenjuju prilikom izradbe i ugradnje konstrukcija isto moraju biti provjereni i odobreni od registra.

Bitna faza u kontroli kvalitete zavarenih spojeva je predmontaža. Predmontažom nazivamo poslove sastavljanja dijelova trupa broda koji se vrši izvan navoza, doka ili mjesta gdje se vrši konačno sastavljanje trupa broda. Predmontaža se dijeli na više faza: predmontaža podsklopova, koju nazivamo malom predmontažom; predmontažom sklopova, koju nazivamo i predmontažom plošnih sekcija; i predmontaža sekcija trupa koja se odnosi na volumenske sekcije trupa koje se kasnije spajaju u fazi montaže. Od početka predmontaže nam je bitno osigurati kontrolu i kvalitetu zavarenih spojeva kako bi izbjegli greške ili njihov pronalazak prilikom montaže na navozu. U proizvodnom procesu mnogo je lakše i jeftinije ispravljanje grešaka u predmontaži nego u fazi montaže kada imamo već gotove sekcije. Što kasniji pronalazak grešaka kod zavarenih spojeva nam produljuje proizvodni proces i izaziva dodatne troškove.

Nadzor na predmontaži se sastoji najviše od pregleda zavora, kontrole oslanjanja elementa na element te kontrole zakrivljenosti i ostalih mogućih deformacija limova kao posljedica zavarivanja. Prilikom nadzora pregledava se visina zavora na kutnim zavarima, slika 25, te se pregledava sam zavar. Prije samog zavarivanja, najčešće montažnog spoja, važno je da je priprema dobro izvedena. Najčešće se radi „V“ priprema spoja. Kod kutnih zavora se kontrolira visina zavora koja mora biti prema projektu. Kod zavora dva sučeljena lima kontrolira se da li je prisutan smak, tj. da li je jedan lim na višoj poziciji od drugog lima, slika 26. Kod svih vrsta zavora pregledava se njihova kvaliteta, tj. da li zavori po sebi imaju pukotine ili ne. Kod kontrole samog zavora važno je da zavar bude neprekidan, da nema pore i da kod spoja limova različitih debljina zavora ima propisanu visinu. U slučaju da se ustanovi jedna od navedenih grešaka zavar je potrebno brusiti ili dodatno navariti ovisno o tome koja

greška je ustanovljena. Prilikom nadzora također se pregledava da nema deformacija nastalih tijekom gradnje, ostataka zavara od zavarenih uški, pomoćnih elemenata, skela itd.



Slika 25. Provjera visine zavara

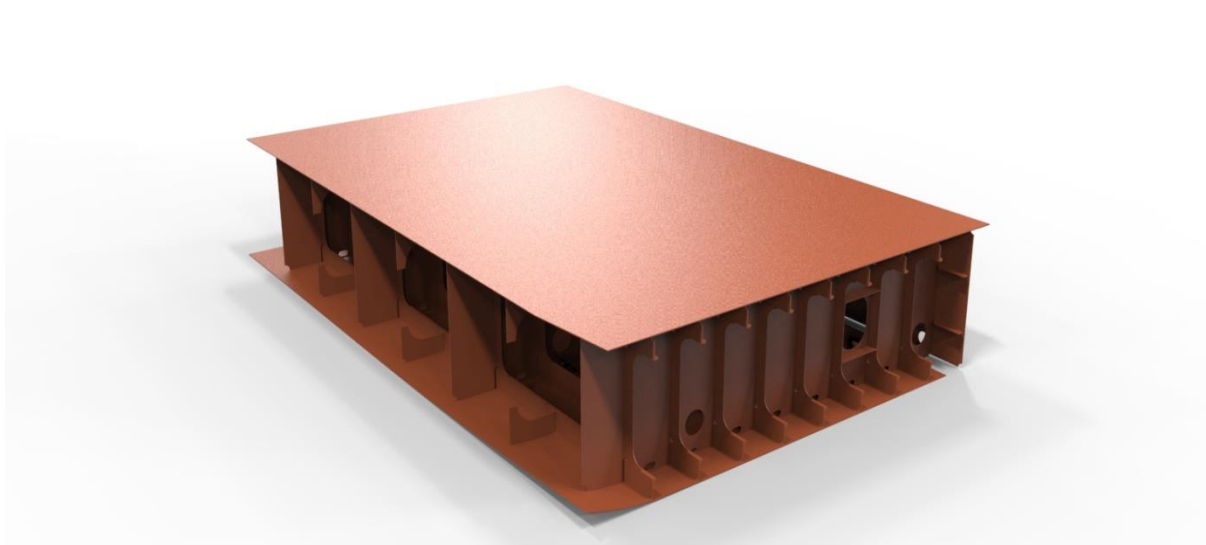


Slika 26. Provjera smaka zavara

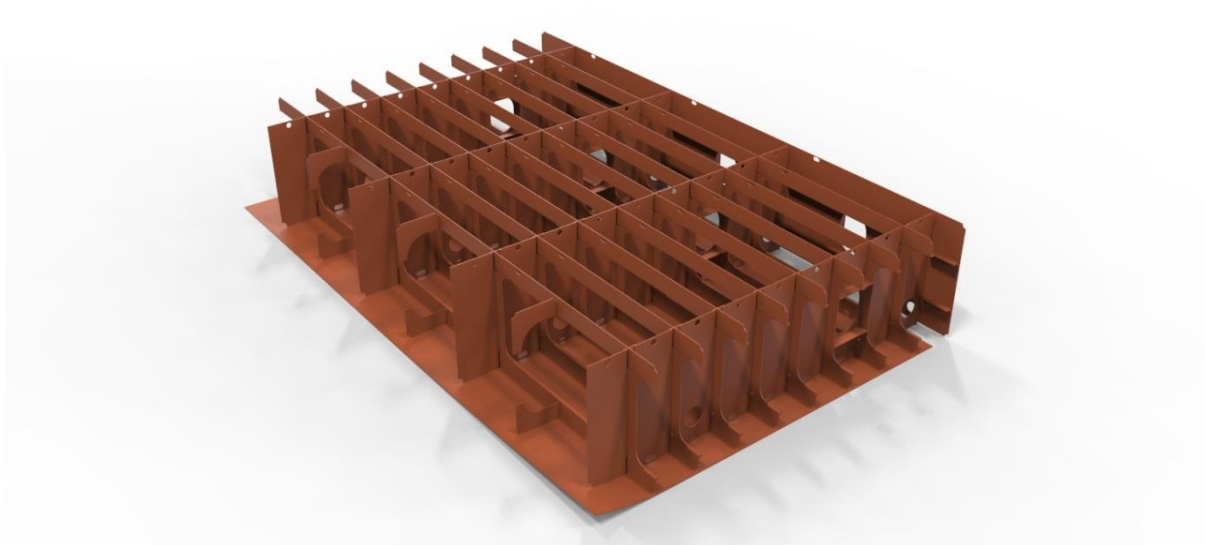
Faza kod koje treba osobito obratiti pažnju kod kontrole kvalitete zavarenih spojeva je kod predmontaže zakrivljenih sklopova i sekcija. Odmah u početku, predmontaža zakrivljenih sklopova ograničena je u odnosu na predmontažu ravnih sklopova. Kod zakrivljenih sklopova, njihova zakrivljenost ne dopušta zavarivanje limova i ukrepa na ravnoj podlozi. Zbog toga, proces zavarivanja je teško automatiziran, zavarivanje je otežano i potrebno je u velikim količinama ručno zavarivanje. Za dobivanje zakrivljenih sekcija potrebno je i sagraditi postolje na kojem ćemo vršiti daljnje radove i zavarivanje, kako bi u konačnosti dobili sekciju. Prilikom zavarivanja, pozicioniranje i pridržavanje ukrepa i drugih elemenata je otežano nego kod ravnih sklopova. Zbog navedenih razloga koji pokazuju različite uvjete rada u predmontaži ravnih i zakrivljenih sklopova, potrebno je osobito obratiti pažnju na kontrolu kvalitete zavarenih spojeva kod zakrivljenih sklopova.

6. OSIGURANJE KVALITETE ZAVARENIH SPOJEVA NA SEKCIJI DVODNA BRODA ZA PRIJEVOZ NAFTE

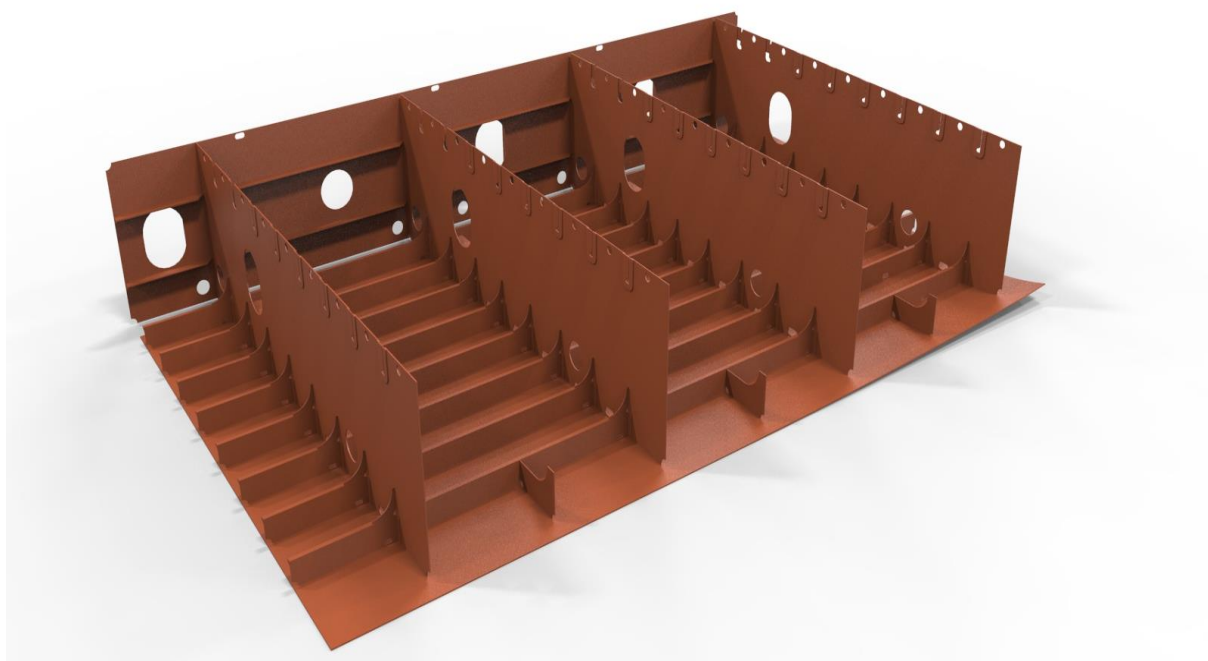
Na primjeru izabranih elemenata jedne sekcije dvodna broda za prijevoz nafte, napravljena je tehnološka uputa osiguranja kvalitete zavarenih spojeva sa svrhom podizanja kvalitete finalnog proizvoda brodogradilišta. Sekcija dvodna prikazana je sljedećim slikama.



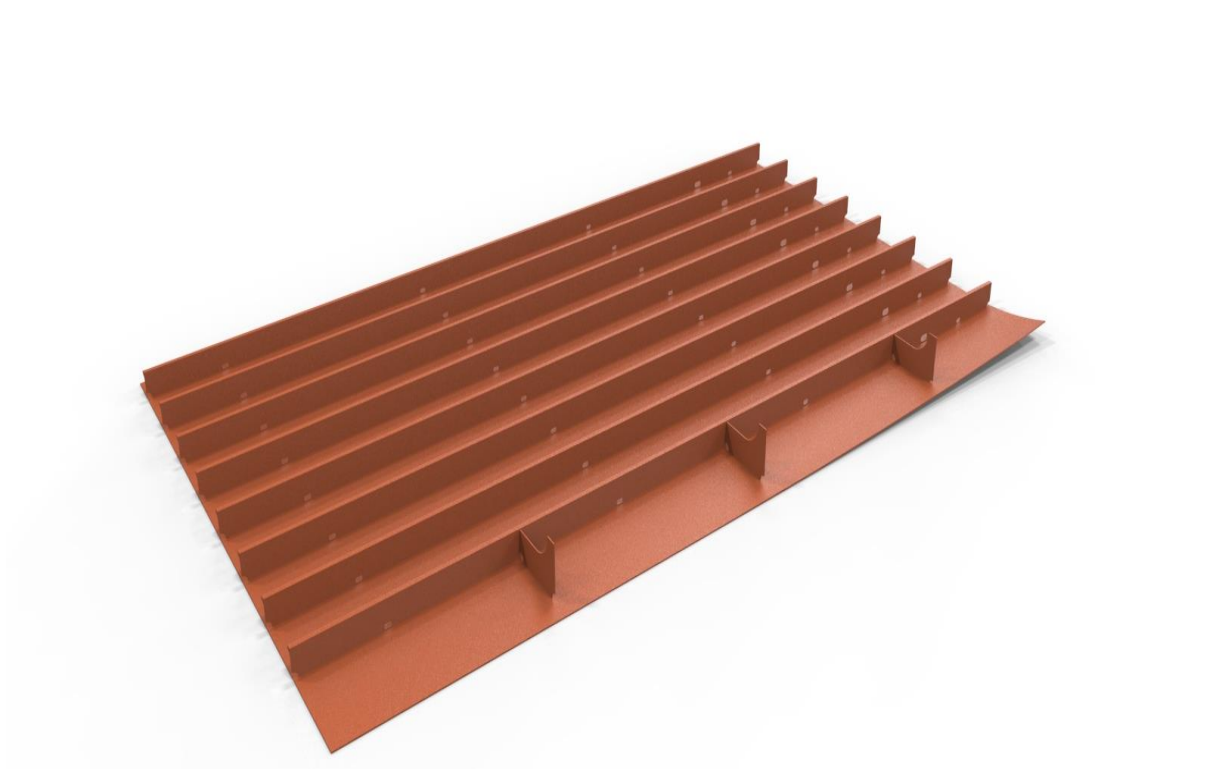
Slika 27. Sekcija dvodna



Slika 28. Sekcija dvodna bez pokrova



Slika 29. Sekcija dvodna bez pokrova i uzdužnjaka



Slika 30. Panel oplata dna

6.1. Narudžbena i radionička specifikacija

Prilikom izrade sekcije dvodna potrebno je napraviti narudžbenu specifikaciju limova i profila kao i kasnije radioničku specifikaciju limova i profila. Sljedećim tablicama, tablica 4, tablica 5, tablica 6, tablica 7), prikazane su narudžbena i radionička specifikacija elemenata na kojima je kasnije opisana tehnološka uputa za osiguranje kvalitete zavarenih spojeva, kako bi smo dobili zadovoljavajuću sekciju.

Narudžbena specifikacija limova:

Komada	Duljina [mm]	Širina [mm]	Debljina [mm]	Materijal	Narudžbena specifikacija
2	11400	2500	15,0	AH32	L1
1	11400	2700	15,0	AH32	L2
1	3900	2100	11,0	MS	L3
1	4300	1400	11,0	MS	L4
1	3300	1800	11,0	MS	L5
1	4500	2100	11,5	MS	L6
1	2600	2100	14,0	AH32	L7
1	3200	1200	12,0	MS	L11
1	1700	800	12,0	MS	L12

Tablica 4. Narudžbena specifikacija limova

Narudžbena specifikacija profila:

Tip	Komada	Duljina [mm]	Materijal	Narudžbena specifikacija
HP 300x12	8	11400	AH32	HP1
TR 150x12	1	8600	MS	TR1
TR 150x12	1	6900	MS	TR2

Tablica 5. Narudžbena specifikacija profila

Radionička specifikacija limova:

Naziv	Komada	Duljina [mm]	Širina [mm]	Debljina [mm]	Materijal
lim pokrova dvodna	1	11250	2400	15,0	AH32
lim pokrova dvodna	1	11250	2400	15,0	AH32
lim pokrova dvodna	1	11250	2550	15,0	AH32
lim rebra 48	1	3800	2000	11,0	MS
lim rebra 48	1	4150	1300	11,0	MS
lim rebra 48	1	3200	1650	11,0	MS
lim rebra 48	1	4400	2000	11,5	MS
lim rebra 48	1	2500	2000	14,0	AH32
lim ukrepe rebra	2	1350	500	12,0	MS
lim ukrepe rebra	2	1650	500	12,0	MS
lim ukrepe rebra	3	600	300	12,0	MS
lim ukrepe rebra	2	450	300	12,0	MS

Tablica 6. Radionička specifikacija limova

Radionička specifikacija profila:

Naziv	Komada	Tip	Duljina [mm]	Širina [mm]	Debljina [mm]	Materijal
uzdužnjaci pokrova dvodna	8	HP	11250	300	12	AH32
ukrepa rebra	2	TR	750	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	1000	150	12	MS
ukrepa rebra	2	TR	700	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	2200	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	750	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	900	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	1000	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	2700	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	750	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	750	150	12	MS
ukrepa rebra	1	TR	1200	150	12	MS

Tablica 7. Radionička specifikacija profila

6.2. Raskroj materijala

Nakon tablica u kojima je prikazana narudžbena i radionička specifikacija limova i profila, prikazan je raskroj materijala na kojima se provodi tehnološka uputa za osiguranje kvalitete zavarenih spojeva.

1

2

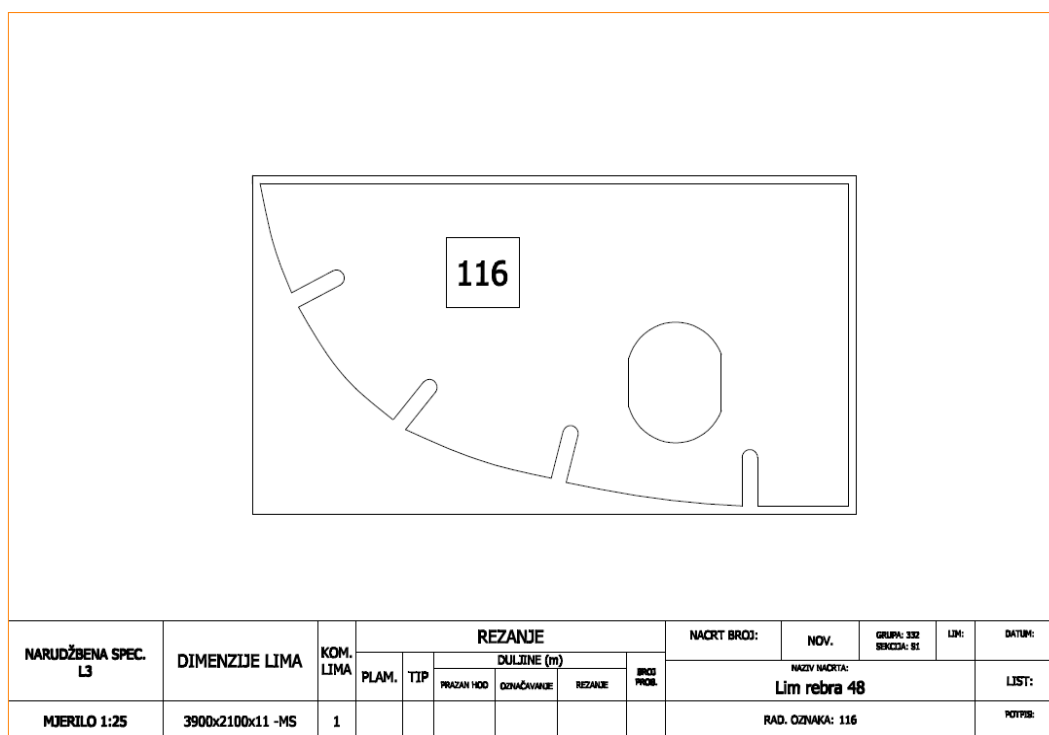
NARUDŽBENA SPEC. L1	DIMENZIJE LIMA	KOM. LIMA	REZANJE						NACRT BROJ:	NOV.	GRUPA: 332 SEKCIJA: 51	LIM:	DATUM:
			PLAM.	TIP	DULJINE (m)			BROJ PROG.					
					PRAZAN HOD	OZNAČAVANJE	REZANJE						
									NADZV NACRTA: Lim pokrova dvodna				LIST:
MJERILO 1:50	11400x2500x15 -AH32	2							RAD. OZNAKA: 1, 2				POTPIS:

Slika 31. Raskroj lima pokrova dvodna L1

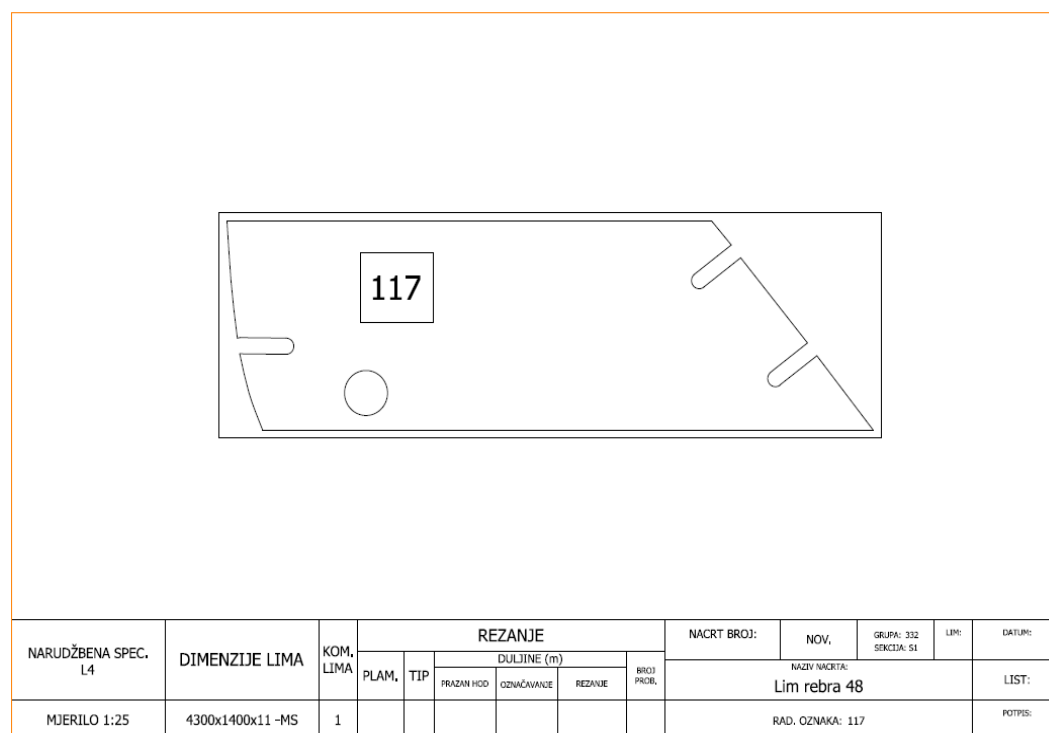
3

NARUDŽBENA SPEC. L2	DIMENZIJE LIMA	KOM. LIMA	REZANJE							NACRT BROJ:	NOV.	GRUPA: 332 SEKCIJA: S1	LIM:	DATUM:
			PLAM.	TIP	DULJINE (m)			BROJ PROG.						
					PRAZAN HOD	OZNAČAVANJE	REZANJE							
									NAZIV NACRTA: Lim pokrova dvodna					LIST:
MJERILO 1:50	11400x2700x15 -AH32	1							RAD. OZNAKA: 3			POTPIS:		

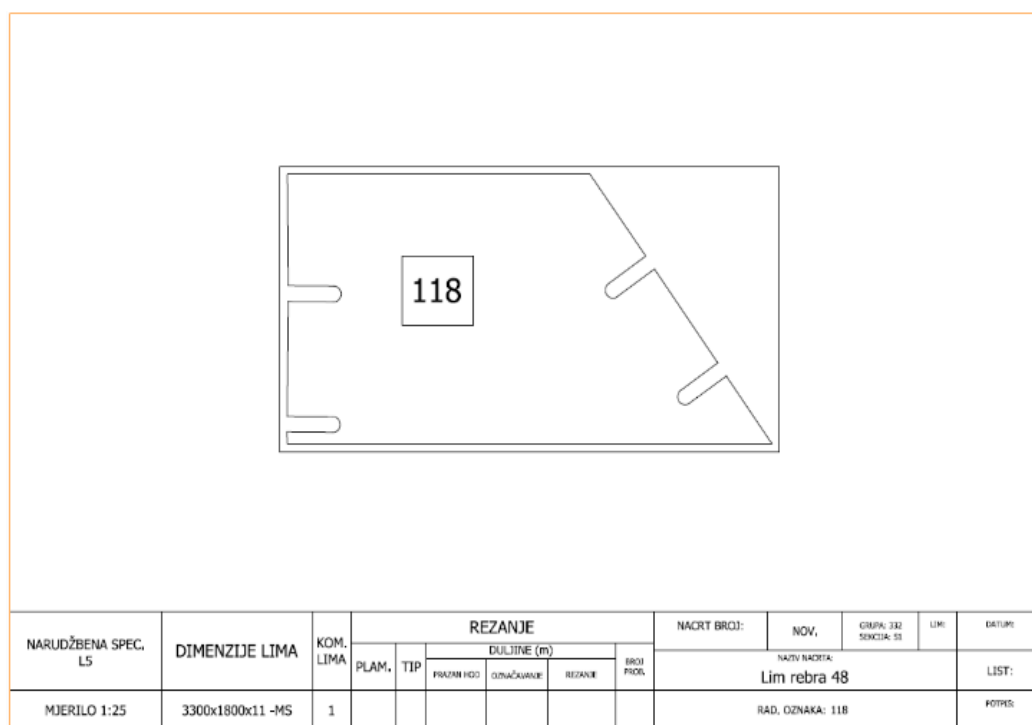
Slika 32. Raskroj lima pokrova dvodna L2



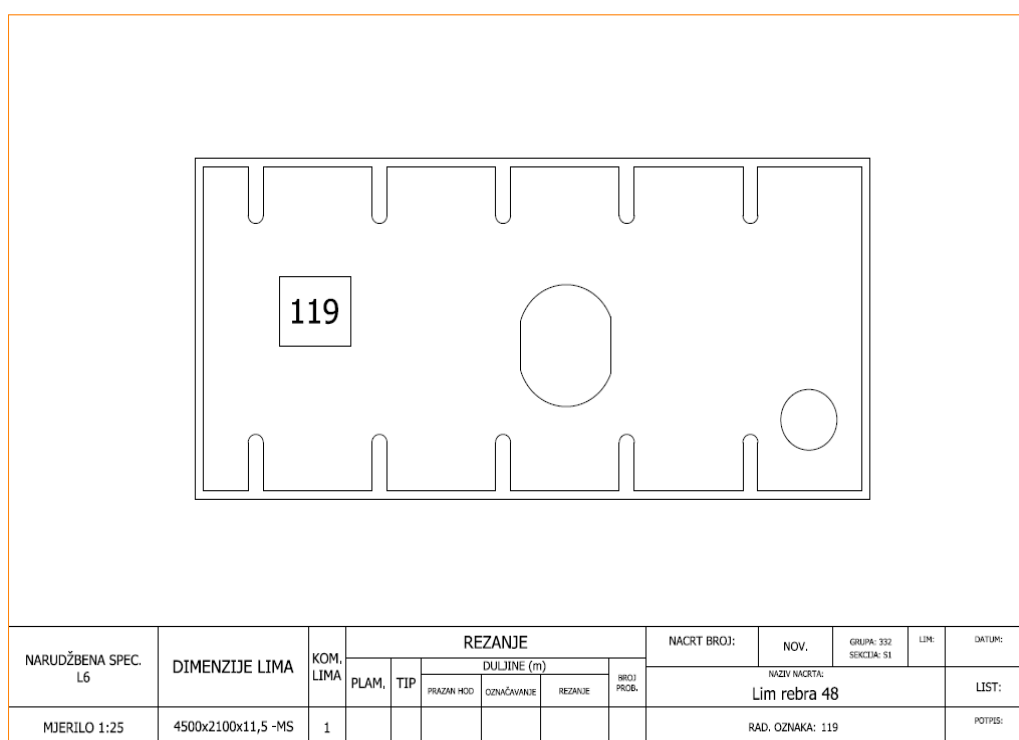
Slika 33. Raskroj lima rebra L3



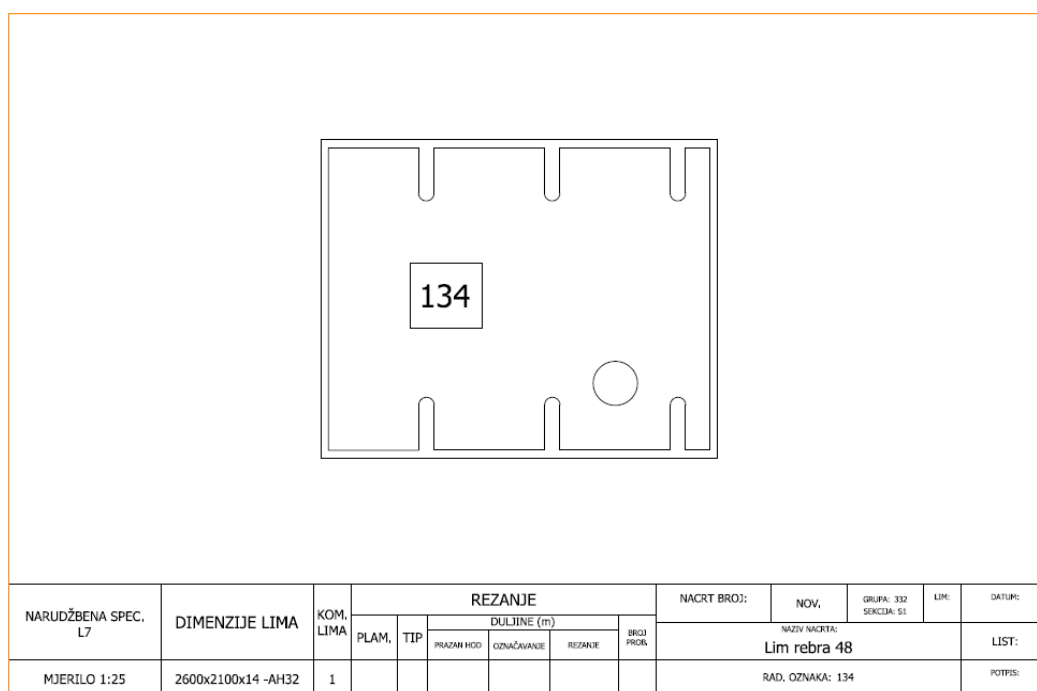
Slika 34. Raskroj lima rebra L4



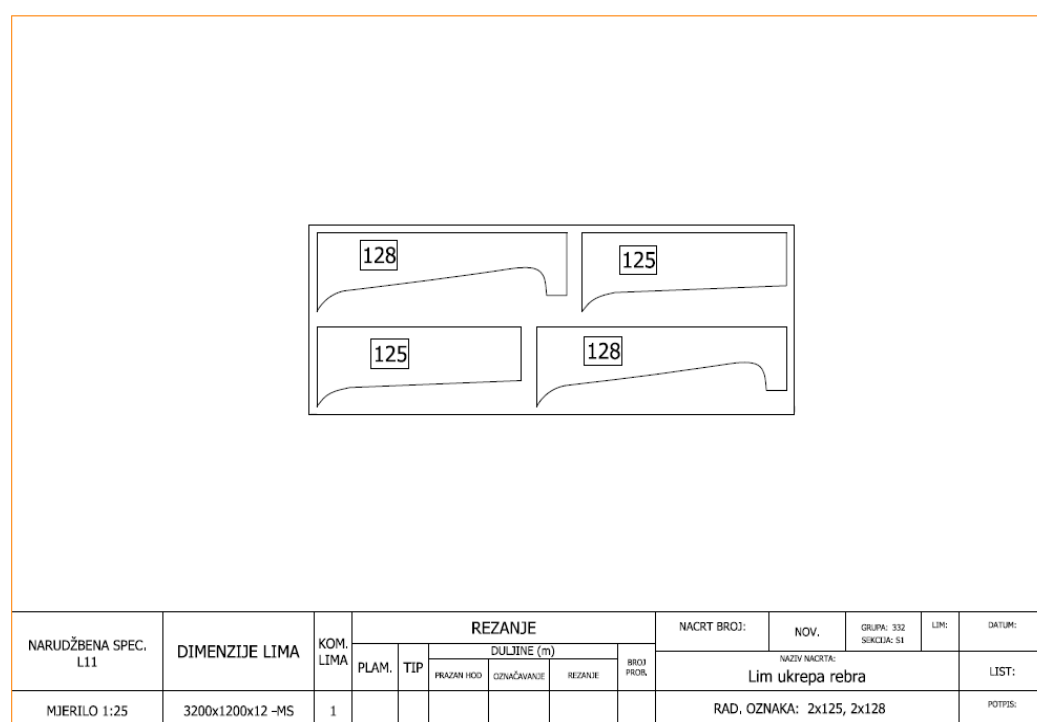
Slika 35. Raskroj lima rebra L5



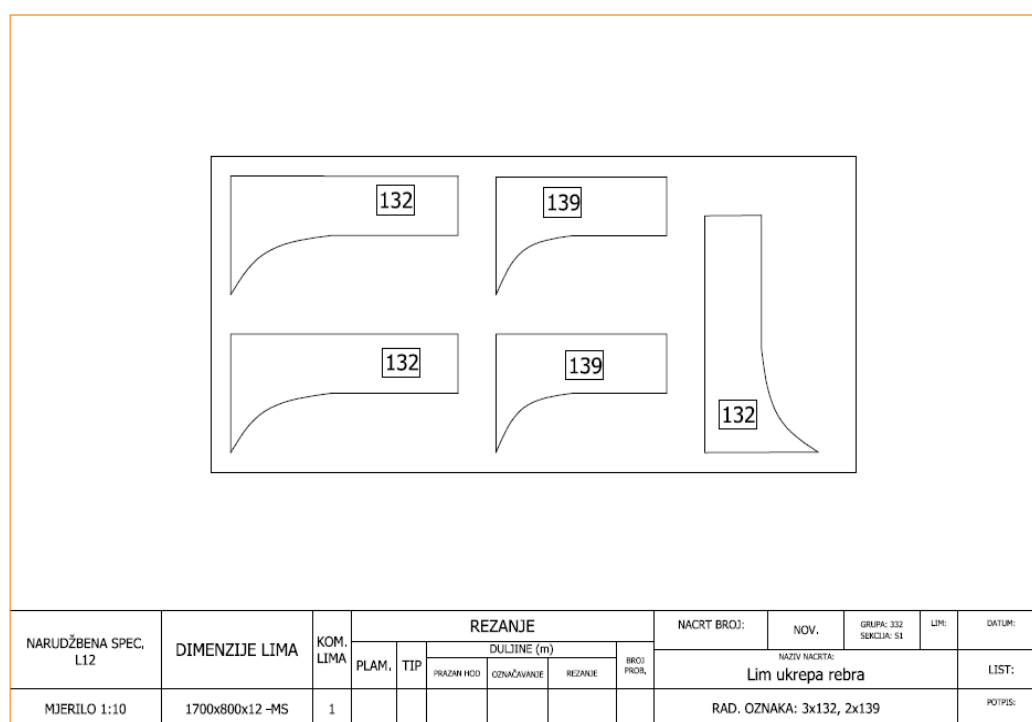
Slika 36. Raskroj lima rebra L6




Slika 37. Raskroj lima rebra L7



Slika 38. Raskroj lima ukrepa rebra L11



Slika 39. Raskroj lima ukrepa rebra L12



NOV.

GRUPA

IZRADIO:

PREGLEDAO:

MJERILO 1:50

OBRADA PROFILA

LIST:

611

611

612

613

613

614

615

616

617

618

619

620

689

POZICIJA				IZMJERE				MATERIJAL					RAD. MJESTA				OPASKA	
SEKC.	KOM.	RAD. OZN.	NAZIV ELEMENTA	A				N.SPEC	BROJ KOM.	DUŽINA	VISINA	DEB.	MAT.	RED. BROJ	OBRADA	Crt.	Izrada	
	2	611	TR 150x12	750				TR1	2	8600	150	12	A	1				
	1	612	TR 150x12	1000				TR1	1	8600	150	12		2				
	2	613	TR 150x12	700				TR1	2	8600	150	12		3				
	1	614	TR 150x12	2200				TR1	1	8600	150	12		4				
	1	615	TR 150x12	750				TR1	1	8600	150	12		5				
	1	616	TR 150x12	900				TR1	1	8600	150	12		6				
	1	617	TR 150x12	1000				TR2	1	6900	150	12		7				
	1	618	TR 150x12	2700				TR2	1	6900	150	12		8				
	1	619	TR 150x12	750				TR2	1	6900	150	12		9				
	1	620	TR 150x12	750				TR2	1	6900	150	12		10				
	1	689	TR 150x12	1200				TR2	1	6900	150	12		11				

Slika 40. Raskroj TR profila

		NOV.	GRUPA	IZRAĐIO:		MJERILO 1:50	OBRADA PROFILA										LIST:
				PREGLEDAO:													
POZICIJA				IZMJERE				MATERIJAL				RAD, MJESTA				OPASKA	
SEKC.	KOM.	RAD. OZN.	NAZIV ELEMENTA	A				N.SPEC.	BROJ KOM.	DUŽINA	VISINA	DEB.	MAT.	RED. BROJ	OBRADA	Crt.	Izrada
S1	8	501	HP 300x12	11250				HP1	8	11400	300	12	AH32	1			

Slika 41. Raskroj HP profila

6.3. Tehnološka uputa

Nakon napravljene narudžbene i radioničke specifikacije materijala i naručenog materijala, slijedi isporuka materijala vagonima ili brodom u brodogradilište. Tijekom svih faza proizvodnog procesa bitno je vršiti kontrole prema tehnološkim uputama.

1) Ulazno skladište

Prilikom pristizanja materijala u brodogradilište, obaviti iskrcavanje uz ulaznu kontrolu pristiglog materijala prema obaveznoj dokumentaciji. Na limovima (L1 do L12) i profilima (HP1, TR1, TR2) iz narudžbene specifikacije, provesti grubu vizualnu kontrolu dimenzija, kontrolu oznaka materijala, kontrolu kvalitete čelika prema mehaničkim svojstvima i kontrolu čelika prema kemijskom sastavu, i izvršiti grubu kontrolu pronalazaka pukotina. Nakon provjere zaprimljenog materijala, na svaki lim upisati broj novogradnje, broj grupe i pozicije iz narudžbene specifikacije i prioritet. Nakon toga materijal skladištiti prema prioritetu i redoslijedu obrade. Kod kemijskog sastava materijala, potrebno je kontrolirati vrijednost ugljičnog ekvivalenta u čeliku koji uvjetuje dobru zavarljivost ($Ce < 0,4$). Vrijednost ugljičnog ekvivalenta računa se prema slijedećoj formuli:

$$Ce = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{10}$$

2) Predobrada materijala

Prema dokumentaciji za proizvodnju, čelik se šalje u predobradu u skladu s planom proizvodnje. Kod svih naručenih limova (L1 do L12), potrebno je izvršiti ravnanje limova valjcima za ravnanje, a kod naručenih profila (HP1, TR1, TR2), izvršiti ravnanje profila na prešama za oblikovanje zbog izbjegavanja netočnosti pri kasnijem rezanju materijala. Izvršiti i sušenje materijala plamenicima zbog uklanjanja vlage i učinkovitijeg čišćenja materijala. Nakon toga provesti zrnčenje, tj. strojno odstranjivanje valjaoničke kore i hrđe sa svih limova i profila kako bi se kasnije mogao nanijeti zaštitni premaz. Kad je materijal očišćen potrebno ga je konzervirati nanošenjem odgovarajućeg zaštitnog premaza „Shopprimera“ koji će štititi materijal od hrđe tokom daljnje obrade. Odmah nakon konzerviranja izvršiti drugo sušenje kako bi se zaštitni premaz osušio. Materijal se odvodi dalje u međuskladištenje i spreman je za daljnju obradu.

3) Obrada materijala

Proces obrade materijala odvija se u skladu s proizvodnom dokumentacijom. Obrada materijala vrši se najčešće plazma ili plinskim rezanjem. Prema radioničkoj specifikaciji limova, potrebno je sve limove (limovi pokrova dvodna, limovi rebra 48, limovi ukrepe rebra) obraditi koordinatnim plazma rezanjem. Izvršiti i obrezivanje svih limova, (50 mm). Faktori koji utječu na kvalitet rezanja su uzrokovani od stroja za rezanje, postupka rezanja i materijala koji se reže. Prije rezanja treba provjeriti atest stroja za rezanje, dimenzije limova i profila i stanje i čistoću površine čelika. Kod strojeva za rezanje potrebno provjeriti točnost koordinata rezanja. Nakon rezanja, na svim limovima kontrolirati kvalitet i čistoću reza, dimenzije materijala, te da li je dobiven željeni oblik rubova reza koji je pripremljen za kasnije zavarivanje.

4) Međuskladište materijala

Nakon kvalitetne i kontrolirane predobrade i obrade materijala, sve limove i profile potrebno je međuskladištiti u zatvorenim prostorima koji nisu izloženi vremenskim uvjetima (kiši, suncu, snijegu), kako bi se izbjeglo ponovno stvaranje masnoće i vlage na materijalu, i kako bi bila efikasnija zaštita od korozije. U međuskladištima ne smije biti vlage i mora biti kontrolirana temperatura.

5) Predmontaža

Tijekom predmontaže potrebno vršiti kontrolu zavarivanja podsklopova, sklopova i sekcija. Kvalitetna priprema zavarivanja su dobro pripremljeni rubovi. Prije samog početka zavarivanja potrebno je provjeriti atest zavarivača i stroja. Potrebno je provjeriti parametre stroja koje utječu na zavarivanje; napon električnog luka, jakost struje za zavarivanje, vrstu elektrode, brzinu zavarivanja, stupanj iskorištenja energije u električnom luku i unesenu toplinu. Prema radioničkoj specifikaciji limova, obrađene limove pokrova dvodna treba što bolje pozicionirati i privariti, te nakon toga izvršiti zavarivanje prema redoslijedu. Nakon toga potrebno je pripremiti uzorke iz kojih dobijemo epruvete za kontrolu zavarenih spojeva razaranjem. Kada su limovi pokrova dvodna zavareni, slijedi pozicioniranje uzdužnjaka pokrova dvodna, privarivanje, te njihovo zavarivanje. Isti postupak kontrolirati i provesti na

limovima rebra 48 i ukrepama rebra 48 iz radioničke specifikacije. Tijekom zavarivanja svih elemenata kontrolirati zaštitu od prokapljavanja. Kod međusobnog zavarivanja elemenata strukture, najprije zavariti vertikalne spojeve, zatim horizontalne od sredine prema krajevima. Zavarivanje elemenata s obzirom na sekciju treba izvoditi redoslijedom od sredine prema krajevima sekcije. Konstantno kontrolirati deformacije izazvane zavarivanjem.

6) Skladište sekcija

Kada su svi podsklopovi i sklopovi zavareni, te kad je sekcija gotova, potrebno je izvršiti kontrolu zavarenih spojeva bez razaranja prema navedenoj tablici 2, iz Hrvatskog registra brodova. Vizualna kontrola, radiografska kontrola ili ultrazvučna kontrola sekcije.

7. ZAKLJUČAK

U brodograđevnom proizvodnom procesu pojavljivanje pogrešaka u zavarenom spoju, a naročito njihovo ponavljanje, uzrokuje velike probleme tijekom gradnje broda u brodogradilištu. Uzroci im, međutim, mogu biti u fazama prije same proizvodnje kao i tijekom svih faza izgradnje broda. Nekvalitetnom izvedbom zavarivanja dolazi do zastoja u proizvodnji, gubitaka u tempu i zakašnjenja u isporuci naručitelju, ali i donosi nepotrebne dodatne troškove koje želimo izbjeći. Popravci mogu uzrokovati trajne negativne posljedice na sposobnost konstrukcije. Nekvalitetno zavarivanje elemenata tijekom cijelog procesa izgradnje proizvoda izaziva opasnost od katastrofe i potonuća broda u eksploataciji. Provođenjem kontinuiranog nadzora kvalitete zavarenih spojeva tijekom svih faza proizvodnog procesa kao i ostalih parametara koji utječu na zavarivanje, jamči sigurnost finalnog proizvoda, a i time osiguranje kvalitete zavarenih spojeva.

LITERATURA

- [1] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje>
- [2] Furlan Z., Lučin N., Pavelić A., Tehnologija gradnje broskog trupa, Zagreb, 1986.
- [3] Milotić M., Priručnik za zavarivače, Saobraćajni fakultet, Doboj, 2008.
- [4] Anzulović B., Zavarivanje i srodni postupci – skripta, FESB, Split, 1996.
- [5] Kalman Ž., Konstrukcija broda II, Interna skripta, FSB, Zagreb
- [6] Lomčar Đ., Bezjak V., Priručnik za zavarivanje, Zagreb, 1987.
- [7] Samardžić I., Zavarivanje i zavarivačku srodne tehnike, Slavonski brod, 2003.
- [8] Bičić M., Gotesman M., Greške u zavarenim spojevima, Uljanik Pula, 2005.
- [9] Juraga I., Alar V., Korozija i metode zaštite od korozije, FSB, Zagreb, 2009.
- [10] Hrvatski registar brodova, dio 26. – Zavarivanje, 2002.